

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

Научный журнал

Том 8 (74), № 1

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

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2022

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

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

**Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского, протокол № 1 от 25 января 2022 г.**

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, отрасль науки 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 – Ярмолук Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Колесников Сергей Ильич, д. с-х. н., проф.
4. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
5. 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.

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328

Подписано в печать 28.01.2022. Формат 70х100 1/16.

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

Дата выхода в свет «__» _____ 2022 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности
ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес издательства и типографии:

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

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

УДК 796.01:159.9

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ФУТБОЛИСТОВ-ПОДРОСТКОВ

Алиев И. С.

*Азербайджанская Государственная Академия Физической Культуры и Sports, Баку,
Азербайджан*

E-mail: ilgar.aliyev@sport.edu.az

Исследована сравнительная динамика функциональной и физической подготовки юных футболистов. Выявлено, что как в контрольной, так и в опытной группах весовые показатели были примерно одинаковыми и составили 3,2 % и 3,6 %, соответственно. Аналогичные результаты наблюдались для индекса массы тела с увеличением на 3,3 % в контрольной группе и на 5,3 % в экспериментальной группе. По функциональным показателям частота дыхания увеличилась на 1,5 % в контрольной группе, ЖЕЛ в контрольной – 2,0 %, в экспериментальной группе на 3,7 % в контрольной группе, на 4,4 % в экспериментальной группе увеличилось в контрольной группе на 9,8 % в контрольной группе, индекс Руфье в экспериментальной группе уменьшился на 11,7 %.

Было обнаружено, что у игроков в контрольной группе при беге на 60 м улучшилось на 3,2 %, а в экспериментальной группе на 4,3 %. При беге на 3×30 м время в контрольной группе улучшилось на 5,6 %, а в экспериментальной – на 6,2 %.

Ключевые слова: функциональная и физическая подготовленность, адаптация, модельные показатели, подростки, росто-весовые показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из актуальных задач современности – создать условия для здорового роста детей и подростков и направить их на занятия большим спортом. В процессе нормального развития организм подвергается воздействию множества факторов внешней среды, и в зависимости от ситуации формируются разные функциональные системы, направленные на удовлетворение жизненных потребностей. Среди этих факторов важную роль играют физические нагрузки и адаптация к ним. В связи с этим важно изучить адаптацию детей и подростков к физическим нагрузкам. Именно на этой стадии развития начинают меняться функциональные основы всех физиологических систем организма. Следует отметить, что спортивные игры, особенно футбол, занимают особое место среди средств, используемых в эффективной организации досуга для развивающегося организма. Занятие футболом представляет собой уникальную модель двигательной активности, где в равной

степени задействованы все основные системы организма – сердечно-сосудистая, дыхательная, нервная системы. Следовательно, спортивный результат определяется текущим функциональным состоянием всех этих систем [1–5].

Изучение влияния футбольных тренировок на функционально-физическую подготовленность и адаптационные способности детей и подростков является важной проблемой возрастной и спортивной физиологии. В футболе для достижения высоких результатов требуется скоростно-силовые и специально-силовые нагрузки. Повышение уровня развития общей и скоростной выносливости футболистов позволяет им эффективно повышать физическую работоспособность. Многочисленные тестовые соревнования на начальных этапах подготовки юных футболистов актуализируют дозировку и физиологическое обоснование применяемых нагрузок. Все это позволяет проводить строгий медико-биологический контроль тренировочного процесса, получать экспериментальные данные о потенциальном уровне изменений в организме, сравнивать их с существующими моделями и определять текущие функциональные возможности спортсмена, стратегию тренировок, изменения в организме [2, 5–7].

Эффективность соревновательного процесса у игроков определяется умением поддерживать высокий уровень физической работоспособности во время игры. Научно обоснованный подход к разработке прогрессивных программ тренировок, повышающих функциональные возможности футболистов, изучение биохимических механизмов основных энергоносителей организма повышает эффективность тренировок, что способствует улучшению спортивных результатов. Чрезмерные и нерационально дозированные физические нагрузки приводят к кратковременной адаптации вегетативных систем организма и отрицательно сказываются на эффективности соревновательного процесса [2, 7–10].

Цель исследования состоит в определении влияния занятий футболом на физическую и функциональную подготовленность подростков 10–15 лет и оценке их адаптационных возможностей к физическим нагрузкам на основе показателей сердечно-сосудистой и дыхательной систем в процессе тренировочного цикла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Особенности физического развития определялись совокупностью методов, основанных на измерениях антропометрических методов, прибором Имбоди и Прибором АМП (рост, масса тела, окружность груди, мышечная масса (прибором Имбоди) и объем циркулирующей крови (Прибором АМП)).

Физиологические и функциональные показатели определялись методами функциональной диагностики: частота сердечных сокращений (ЧСС) (пульсометрия), частота дыхания (ЧД), жизненная емкость легких (ЖЕЛ) (спирометрия), артериальное давление (АД) (сфигмоманометрия), сила правой и левой руки (динамометрия). Для оценки адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам использовался тест проба РУФБЕ.

В качестве контрольных тестов, позволяющих определить уровень физической подготовленности футболистов с преимущественным проявлением скоростных качеств, использовались два упражнения: 1) бег на 60 м – оценивалось время бега в

секундах по легкоатлетической дорожке; 2) челночный бег 3×30 м – оценивалось время бега в секундах по легкоатлетической дорожке.

По результатам тестирования, проведенного в начале первого макроцикла, были составлены три возрастные группы, состоящие из двух (контрольной и экспериментальной) каждая по 15 человек: 1-я группа – контрольная, состоящая из подростков, занимающихся спортом по школьной программе и вторая – экспериментальная, состоящая из подростков, занимающихся по программе этапа подготовки учебно-тренировочных групп ДЮСШОР-а по футболу. В обе группы были отобраны возраст 10–11, 12–13 и 14–15 летнего подростки с примерно одинаковыми показателями физических качеств. С экспериментальной группой во втором макроцикле был проведен эксперимент с целью выявления эффекта рекомендованного нами скорректированного плана тренированных нагрузок, направленных на ускорение темпа роста функциональной подготовленности и скоростных качеств. Тренировочная программа предложенными нами в экспериментальной группе во втором макроцикле отличалась как по содержанию, так и соотношением объемов и интенсивности нагрузок, выполняемых с различной скоростью, усилием и продолжительностью.

Контрольная группа продолжала тренироваться в соответствии с прежней программой. По окончании эксперимента в обеих группах было проведено третье тестирование, результаты которого сравнивались с усредненными модельными показателями функциональной и физической подготовленности футболистов. Как уже отмечалось, в исследованиях принимали участие 45 футболистов-подростков в каждой группе и контрольной и экспериментальной из учебно-тренировочного этапа подготовки.

Статическая обработка данных была выполнена с помощью пакета программ Statistika 6.0. Для определения достоверности разностей показателей экспериментальной и контрольной групп применяли t-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены данные основных антропометрических показателей у подростков контрольной и экспериментальной групп. Анализ представленных в таблице антропометрических показателей физического развития подростков, позволяет представить динамику морфометрических перестроек организма учебно-тренировочного этапа подготовки подростков (10–15 лет), происходящих в процессе занятия футболом экспериментальной группы и сравнить эту динамику с антропометрическими показателями детей и подростков контрольной группы.

Результаты, приведенные в таблице 1 свидетельствуют о положительной динамике изменения уровня развития костно-мышечного аппарата, подкожножирового слоя и внутренних органов подростков. Темпы прироста ключевых антропометрических показателей юных футболистов в возрастной группе 12–13 лет составили в среднем 18,6 % (при сравнении с группой 10–11 лет), в группе 14–15 лет – 17,6 % (при сравнении с группой 12–13 лет), в то время как у детей и подростков контрольной группы аналогичные показатели в соответствующих возрастных группах составляют 13,4 % и 14,4 %. Рост и развитие

детей было определено при помощи центильной таблицы Кучмы (2005). Это говорит об интенсификации пластических процессов синтеза нуклеиновых кислот и белков в костно-мышечном аппарате и внутренних органах, а значит, свидетельствует о включении механизмов долговременной адаптации организма подростков к физической нагрузке и, следовательно, характеризует учебно-тренировочный процесс, позитивно направленный на рост и развитие организма.

Таблица 1

Основные антропометрические показатели подростков экспериментальной и контрольной групп ($M \pm m$)

Антропометрический показатель	Контроль, 10-11 лет, (n=15)	I – ЭС, 10-11 лет (n=15)	Контроль, 12-13 лет (n=15)	II – ЭС, 12-13 лет (n=15)	Контроль, 14-15 лет (n=15)	III – ЭС, 14-15 лет (n=15)
Рост (см)	147,5	145,5 $\pm$ 4,43	156,4	155,4 $\pm$ 2,37	169,7	169,8 $\pm$ 15,75
Масса тела (кг)	38,6	39,4 $\pm$ 0,67	45,6	48,6 $\pm$ 0,85	55,9	59,0 $\pm$ 0,72
Окружность грудной клетки (см)	72,7	78,7	78,7	80,4 $\pm$ 0,60	84	89,4 $\pm$ 0,50
Объем крови (л)	2,8 $\pm$ 1,2	2,9 $\pm$ 1,5	3,0 $\pm$ 1,4	3,6 $\pm$ 1,6	3,9 $\pm$ 2,0	4,6 $\pm$ 1,4
Мышечная масса (кг)	16,24 $\pm$ 0,9	16,56 $\pm$ 1,2	17,32 $\pm$ 1,4	17,88 $\pm$ 1,5	18,36 $\pm$ 1,4	18,8 $\pm$ 1,9
Динамометрия (кгс)	24,0 $\pm$ 0,90	23,0 $\pm$ 0,03	28,0 $\pm$ 0,07	30,0 $\pm$ 0,04 ⁺⁺	32,0 $\pm$ 0,75	35,0 $\pm$ 0,07 ^{++**}

Примечание: Контроль – средние показатели подростков, занимающихся по школьным программам; I-ЭГ – экспериментальная группа (10–11 лет), II-ЭГ – экспериментальная группа (12–13 лет), III-ЭГ – экспериментальная группа (14–15 лет).

Сравнивая основные антропометрические показатели футболистов контрольной группы (10–11 лет) с подростками-школьниками аналогичного возраста, занимающихся по школьной программе, было выявлено, что длина тела соответствует средним значениям (25 центилей), масса тела также соответствует средним значениям (75 центилей), окружность грудной клетки 50 центилей. Сравнивая основные антропометрические показатели футболистов II группы подростков (12–13 лет) с детьми аналогичного возраста, занимающимися по школьной программе выяснилось, что длина тела 25–30 центилей, масса тела 25–50 центилей, окружность грудной клетки 50–75 центилей, окружность грудной клетки 75 центилей.

У всех юных спортсменов возрастной группы 10–15 лет проводилось комплексное исследование динамики показателей, состава массы тела и количественных характеристик жидкостных и клеточных сред организма в течении целого игрового сезона для суждения о морфологических основах совершенствования игрового мастерства. Ввиду того, что в возрасте 10–15 лет организм спортсмена находится в состоянии быстрого биологического роста и

развития вегетативных систем обеспечения физиологической активности, анализ антропометрических исследований как результат соревновательной и тренировочной деятельности в этих возрастных группах необходимо проводить с учетом прогрессирующего роста организма. Активация ростовых и других морфологических процессов всегда сопровождается колебаниями в степени физических возможностей юношей. Это может выражаться как в разрыве устоявшихся навыков, так и в разнонаправленных изменениях по ряду отдельных показателей. Формирование компетентной структуры тела находится в непосредственной зависимости от ряда факторов, в том числе от питания, двигательного режима, интенсивности и направленности тренировочных занятий.

Количественная оценка показателей антропометрии, объема крови и мышечной массы существенно дополняет представление о соматическом типе, его функциональных возможностях, а также влияния целенаправленной тренировки на рост и развитие организма занимающихся (таблица 1).

На возрастном отрезке от 10–15 лет наблюдается неравномерный прирост длины тела с некоторым увеличением между 14 и 15 годами. Отмеченные изменения обоих форматных показателей укладывается в среднестатистические нормы, характерные для периода второго детства и подросткового (пубертатного) периода по данным возрастной физиологии [11–13]. Идентичная картина наблюдается по показателям площади поверхности и индекса массы тела, что естественно, поскольку эти параметры являются производными от роста и веса.

В таблице 2 представлены данные футболистов трех групп по физиологическим показателям: ЧСС, АД, ЧД, ЖЕЛ и динамометрия. Анализ динамики физиологических показателей подростков в процессе занятий футболистов говорит о благотворном влиянии физических нагрузок на состояние функционирования сердечно-сосудистой, двигательной и нервно-мышечной систем.

Как свидетельствуют данные, приведенные в таблице 2, результаты ЧСС, ЧД, ДД и ЖЕЛ говорят о положительных экономизирующихся перестройках и повышении работоспособности в сердечно-сосудистой и дыхательной системах организма юных футболистов. Таким образом, с ростом спортивного мастерства и физической работоспособности юных футболистов наблюдалось снижение напряжения и повышения работоспособности кардио-респираторной системы, что нашло отражение в следующих изменениях физиологических показателей: ЧСС оказалась меньше на 18,3 % в группе детей 12–13 лет при сравнении с группой 10–11 лет и на 8,3 % меньше в группе 14–15 лет при сравнении с группой 12–13 лет; ЧД в группе детей 12–13 лет стало меньше на 28,4 % по сравнению с группой 10–11 лет, а в группе 14–15 летних – на 48,5 % по сравнению с группой 12–13 летних детей; ЖЕЛ в группе 12–13 летних выше на 34,4 %, чем в группе 10–11 летних подростков, а в группе 14–15 летних – на 33,3 % чем в группе 12–13 летних. АД осталось в пределах общебиологической нормы, достоверно увеличившись лишь в III группе на 12 %.

Позитивные адаптивные перестройки в функционировании ЧСС происходят не только с ростом спортивного мастерства юных футболистов, но и достоверно ($p < 0,05$) меняются по отношению к общебиологическим показателям работы ЧСС

детей, не занимающихся спортом. Так, уже во второй группе спортсменов (II – ГК), регулярно занимающихся футболом не менее одного года, ЧСС уменьшается на 7,9 % по сравнению с показателями подростков аналогичного возраста, не занимающихся спортом, а в третьей группе квалифицированных футболистов показатели ЧСС уменьшаются по сравнению с показателями подростков аналогичного возраста, не занимающихся спортом на 15 %.

Таблица 2

Динамика повышения функциональной и физической подготовленности юных футболистов экспериментальной группы ($M \pm m$)

Функциональный показатель	Контроль, 10-11 лет (n=15)	I – ЭГ 10-11 лет (n=15)	Контроль, 12-13 лет (n=15)	II – ЭГ 12-13 лет (n=15)	Контроль, 14-15 лет (n=15)	III – ЭГ 14-15 лет (n=15)
ЧСС (уд/мин)	85,4±0,80	86,5±0,70	78,3±1,30	74,5±0,66 ^{++*}	72,4±0,40	67,4±0,50 ^{++*}
ЧД (кол-во/мин)	25,4±0,84	26,4±0,68	22,5±0,05 ₃	18,4±0,069 ⁺ *	17,3±0,03 ₀	15,6±0,040 ^{++*}
АД (мм.рт.ст)	105/72	106/73	112/70	113/72	115/72	118/75±8,30 ⁺⁺
ЖЕЛ (мл)	1900±24,28	1800±32,25	2200±35,29	2300±41,71 ⁺ _{**}	2400±29,90	2700±30,63
Индекс Руфье (IR, у.е.)	10,5±0,7	9,3±0,06	9,4±0,6	8,8±0,7 [*]	8,2±0,8	7,0±0,9
Бег на 60 м., м/сек	9,9±0,2	9,7±0,3	9,6±0,5	9,5±0,4	9,3±0,7 [*]	9,0±0,4 [*]
Челночный бег 3×30, м/сек	17,7±0,3	17,5±0,4	16,7±0,4	16,3±0,6	15,7±0,6	15,2±0,3 [*]

Примечание: + – $p < 0,05$; ++ – $p < 0,01$ – достоверность различий между показателями юных футболистов и подростков, не занимающихся спортом;

* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ – достоверность различий по отношению к показателям первой группы начинающих футболистов; I – ГК, II – ГК, III – ГК – группа детей, не занимающихся спортом; I – ЭГ, II – ЭГ, III – ЭГ – экспериментальная группа.

Также достоверно ($p < 0,05$) изменились и показатели ЧД юных спортсменов по сравнению с не спортсменами. Так, в третьей группе (14–15 лет) ЧД уменьшается на 36,6 % по сравнению с данными третьей группы подростков (14–15 лет), не занимающихся спортом. Это характеризует интенсивные положительные экономизирующие перестройки в функционировании дыхательной системы юных футболистов по сравнению с не спортсменами. Об этом же свидетельствуют показатели дыхательной системы юных футболистов. ЖЕЛ достоверно увеличивается в III группе спортсменов, по сравнению с III группой не спортсменов на 19,5 %, что свидетельствует о положительных адаптивных изменениях в дыхательной системе юных футболистов.

Представленные показатели изменения артериального давления (систолического и диастолического) у тренированных спортсменов по сравнению с нетренированными в сторону незначительного увеличения и стабилизации АД на оптимальных величинах также говорит о позитивных перестройках в сердечно-сосудистой системе, следовательно, о включении механизма приспособительных реакций ЧСС к физическим нагрузкам ($p < 0,05$) (таблица 2).

Как видно из результатов, представленных в таблице 1, показатели динамометрии кисти, которые достаточно увеличились у спортсменов II группы по сравнению с I группой на 30,4 %, а затем, показатели динамометрии кисти изменились в III группе по сравнению с I группой до $35 \pm 0,070$ кгс, т.е. еще на 30,4 %.

Сравнивая показатели динамометрии юных футболистов с показателями подростков аналогичного возраста, не занимающихся спортом было выяснено, что показатели динамометрии в первых группах детей и подростков 10–11 лет достоверно не отличались, в группах подростков 12–13 лет показатели спортсменов достоверно увеличились по сравнению с не спортсменами на 8,6 % а в группах подростков 14–15-и лет показатели спортсменов достоверно увеличились по сравнению с не спортсменами на 21,7 %.

Такое увеличение показателей динамометрии у подростков, занимающихся футболом свидетельствует об эффективном приросте силы мышечного сокращения вследствие нарастания общего поперечного сечения миофибрилл за счет положительных адаптивных изменений в нервно-мышечном аппарате подростков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено, что динамика физиологических показателей сердечно-сосудистой, дыхательной и нервно-мышечной систем у подростков характеризует долговременную адаптацию, т.к. произошли экономизирующиеся (ЧСС, ЧД, АД) и оптимизирующие (ЖЕЛ, динамометрия) перестройки в организме.
2. Установлено, что футбольные тренировки благотворно влияют основные антропометрические показатели в возрастной группе 12–13 лет составили в среднем 18,6 % (при сравнении с группой 10–11 лет), в группе 14–15 лет – 17,6 % (при сравнении с группой 12–13 лет), в то время как у детей и подростков контрольной группы аналогичные показатели в соответствующих возрастных группах составляют 13,4 % и 14,4 % и это говорит об интенсификации пластических процессов синтеза нуклеиновых кислот и белков в костно-мышечном аппарате и внутренних органах, а значит, свидетельствует о включении механизмов долговременной адаптации организма подростков к физической нагрузке и, следовательно, характеризует учебно-тренировочный процесс, позитивно направленный на рост и развитие организма.

Список литературы

1. Губа В. П. Индивидуализация подготовки юных спортсменов / Губа В. П. – М.: ФиС, 2009. – 276 с.
2. Губа В. П. Теория и методика футбола. Учебник. / Губа В. П. – М: Спорт, 2015. – 568 с.
3. Солодков А. С. Физиология человека. Общая, спортивная, возрастная. / Солодков А. С. – М.: сов. Спорт, 2010. – 620 с.

4. Караев М. Г. Характеристика проявления двигательной асимметрии. / Караев М. Г., Кипиани Б. Д. // В КН: Функциональная двигательная асимметрия – асимметрия и ее проявление в спорте. – Баку, 2003. – С. 51.
5. Караев М. Г. Индивидуальные особенности функциональной подготовленности нервно-мышечного аппарата футболистов-юношей. / Караев М. Г. // В. сб: Научно-прак. Конф. «Олимпизм и большой спорт». – Баку, 2000. – С. 155.
6. Алиев И. С. Особенности основных антропометрических и физиологических показателей подростков в процессе занятий футболом / Алиев И. С. // Сб. Современный футбол: состояние, проблемы, инновации и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, (Казань, 29-30 июня 2018 года). – Казань, РФ, Поволжская ГАФКС и Т, 2018. – С. 138–143.
7. Алиев И.С. Особенности показателей функциональных проб кардиореспираторной системы подростков 10–15 лет в процессе занятий футболом. / Алиев И.С. // Научный Журнал "Chronos". – 2020. – Выпуск 8 (46). – С. 4–10.
8. Алиев И. С. Аэробная работоспособность квалифицированных футболистов, играющих в различных позициях на футбольном поле. / Алиев И. С., Алиев С. А., Ибрагимли А. М. // Материалы Международной научно-практической конференции, (23 ноября 2018, Переяслав-Хмельницкий, Украина), 2018. – С. 8–17.
9. Багиров Р. К. Значение и роль разносторонних тренировочных микроциклов в процессе подготовки юных футболистов. / Багиров Р. К., Алиев И. С. // В сб.: Материалы научно-практ. конф. «Актуальные проблемы физической культуры и спорта». – Азерб.ГАФКиС, Баку, 2002. – С. 73.
10. Алиев И. С. Анализ особенности динамики физиологических показателей подростков в процессе футбольных занятий. / Алиев И. С., Гаджиев А. М., Алибекова С. С // Евразийский Союз Ученых. – 2019. – № 12-2 (69), С. 4-9.
11. Киркендалл Д. Анатомия футбола (пер. с англ. С.Э.Бориг) / Киркендалл Д. – Минск: Попурри, 2012. – 240 с.
12. Караулова Л. К. Физиология физического воспитания и спорта. Учебник / Караулова Л. К. и др. – М., 2014 – 304 с.
13. Шамардин А. А. Организационная структура подготовки квалифицированных футболистов: учебно-метод. пособие. / Шамардин А. А. – Волгоград: ФГБОУ ВО «ВГАФК», 2017. – 57 с.

COMPARATIVE STUDY OF THE DYNAMICS OF FUNCTIONAL AND PHYSICAL TRAINING OF TEENAGE FOOTBALL PLAYERS

Aliiev I. S.

*Azerbaijan State Academy of Physical Culture and Sports, Baku, Azerbaijan
E-mail: ilgar.aliyev@sport.edu.az*

The comparative dynamics of functional and physical training of young football players has been studied. It was revealed that both in the control and in the experimental groups, the weight indicators were approximately the same and amounted to 3.2 % and 3.6 %, respectively. Similar results were observed for body mass index with an increase of 3.3 % in the control group and 5.3 % in the experimental group. According to functional indicators, the respiratory rate increased by 1.5 % in the control group, VC in the control group – 2.0 %, in the experimental group by 3.7 % in the control group, by 4.4 % in the experimental group increased in the control group by 9.8 % in the control group, the Ruffier index in the experimental group decreased by 11.7 %.

It was found that the players in the control group improved by 3.2 % when running 60 meters, and in the experimental group by 4.3 %. When running 3 × 30 m, the time in the control group improved by 5.6 %, and in the experimental group – by 6.2 %.

Positive adaptive rearrangements in the functioning of heart rate occur not only with the growth of sportsmanship of young football players, but also significantly ($p < 0.05$) change in relation to the general biological indicators of heart rate in children who do not go in for sports. So, already in the second group of athletes (II - GC), who regularly play football for at least one year, the heart rate decreases by 7.9 % compared with the indicators of adolescents of the same age who do not go in for sports, and in the third group of qualified football players, the heart rate indicators decrease by compared with adolescents of the same age who are not involved in sports by 15 %.

This characterizes intensive positive economizing changes in the functioning of the respiratory system of young football players compared to non-athletes. This is also evidenced by the indicators of the respiratory system of young football players. The vital capacity of the lungs significantly increases in the III group of athletes, compared with the III group of non-athletes by 19.5 %, which indicates positive adaptive changes in the respiratory system of young football players.

Keywords: functional and physical fitness, adaptation, model indicators, youths, height - weight indicators.

References

1. Guba V. P. *Individualization of training of young athletes*, 276 p. (M.: FiS, 2009).
2. Guba V. P. *Theory and methodology of football*, 568 p. (M.: Sport, 2015).
3. Solodkov A. S. *Human physiology. General, sports, age*, 620 p. (M.: owl. Sport. – 2010).
4. Karaev M. G., Kipiani B. D. *Characteristics of the manifestation of motor asymmetry*, In KN: Functional motor asymmetry – asymmetry and its manifestation in sports, 51. (Baku, 2003)
5. Karaev M. G. *Individual features of the functional readiness of the neuromuscular apparatus of male football players*, V. Sat: Scientific and practical. Conf. "Olympism and big sport", 155. (Baku, 2000).
6. Aliev I. S. *Features of the main anthropometric and physiological indicators of adolescents in the process of playing football*, Sat. Modern football: state, problems, innovations and development prospects: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, 138 (Kazan, RF, Volga NAPCS and T, 2018).
7. Aliev I. S. Features of functional tests of the cardiorespiratory system of adolescents aged 10-15 years in the process of playing football, *Scientific Journal "Chronos"*, **8 (46)**, 4 (2020).
8. Aliev I. S., Aliev S. A., Ibragimli A. M. *Aerobic performance of qualified football players playing in various positions on the football field*, Materials of the International Scientific and Practical Conference, 8 (2018).
9. Bagirov R. K., Aliev I. S. *The meaning and role of versatile training microcycles in the process of training young football players*. In: Materials of scientific and practical. conf. "Actual problems of physical culture and sports", 73 (ANAPCS, Baku, 2002).
10. Aliev, I.S., Gadzhiev, A.M., Alibekova, S.S. Analysis of the peculiarities of the dynamics of physiological indicators of adolescents in the process of football training, *Eurasian Union of Scientists*, **12-2 (69)**, 4 (2019).
11. Kirkendall D. *Anatomy of football* (translated from English by S.E.Borig), 240 p. (Minsk: Potpourri, 2012).
12. Karaulova L. K. and other, *Physiology of physical education and sports*, Textbook, 304 p. (M., 2014).
13. Shamardin A. A. *Organizational structure of qualified football players training: educational method. Allowance*, 57 (Volgograd: FGBOU VO "VGAFK", 2017).

УДК 796.01:612.743:796.332

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ДОРСИФЛЕКСИЮ СТОПЫ, В РЕЗУЛЬТАТЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ФУТБОЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОК

Бобровский Е. А., Привалова И. Л., Бобровская Е. А.

*Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия
E-mail: ir_priv@mail.ru*

В работе исследовали электрическую активность и функциональные взаимоотношения передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца с использованием поверхностной электромиографии (ПЭМГ). В исследовании приняли участие молодые люди – студенты КГМУ, регулярно посещающие тренировки в секции футбола и участвующие в футбольных матчах (n=26), а также студенты КГМУ, посещающие только занятия по физической культуре (n=52). Полученные данные позволяют судить о функциональной латерализации исследуемых мышц, а также о стратегиях управления их согласованными движениями. Выявленные изменения электрической активности (ЭА) исследуемых мышц, вероятно, отражают результаты систематических футбольных тренировок и играют роль в совершенствовании техники ведения мяча.

Ключевые слова: электрическая активность мышц, передняя большеберцовая мышца, длинный разгибатель большого пальца стопы, корреляционный анализ, футбольные тренировки.

ВВЕДЕНИЕ

Для технической подготовки футболистов существенное значение имеет формирование специфической активности мышц, управляющих движениями голеностопного сустава, стопы и пальцев ног [1]. Передняя большеберцовая мышца (m. tibialis anterior) и длинный разгибатель большого пальца стопы (m. extensor hallucis longus) являются мышцами-синергистами, которые осуществляют дорсифлексию (тыльное сгибание) стопы, разгибание большого пальца, супинацию (инверсию) стопы и поддержание баланса [2]. В литературе описаны нейрофизиологические аспекты деятельности каждой из этих мышц. В частности, проведен подробный параметрический анализ электрических потенциалов и силы сокращений двигательных единиц передней большеберцовой мышцы у здоровых мужчин при изометрических сокращениях и баллистических движениях [3]. Разработаны методы оптимальной оценки отдельных двигательных единиц передней большеберцовой мышцы во время произвольных мышечных сокращений [4]. На больших выборках двигательных единиц доказана взаимосвязь между свойствами мотонейронов и мышечных волокон передней большеберцовой мышцы [5]. Анализ литературных данных позволяет также получить представление о двигательных единицах, включающих длинный разгибатель большого пальца стопы. Известно, что данная мышца иннервируется в основном одиночной ветвью

малоберцового нерва [6]. Двигательные единицы, включающие одиночные мотонейроны и длинный разгибатель большого пальца являются медленными. Этот вывод следует из наблюдений за их электрической активностью, в которых было установлено отсутствие изменений во времени, связанных с утомлением мышц. [7]. Исследование сократительных реакций отдельных двигательных единиц в длинных разгибателях большого пальца стопы в ответ на микростимуляцию аксонов их мотонейронов показало, что моторный ответ зависит от условий, в которых происходит сокращение (изотонических, изотонических с нагрузкой или изометрических [8]. Однако в настоящее время информация о согласованной активности этой группы мышц и ее изменениях у футболистов практически отсутствует.

Цель данной работы – исследовать изменения электрической активности и функциональных взаимоотношений передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца в результате систематических футбольных тренировок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие молодые люди – студенты Курского государственного медицинского университета (КГМУ), которые были разделены на две группы: студенты КГМУ, посещающие только занятия по физической культуре (n=52) (1 группа «Контроль») и студенты КГМУ, регулярно посещающие тренировки в секции футбола и участвующие в футбольных матчах (n=26) (2 группа «Сборная по футболу»).

У всех было получено информированное согласие на участие в исследовании согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) и обработку персональных данных. Программа исследований была одобрена этической комиссией КГМУ.

С помощью метода поверхностной электромиографии (ПЭМГ) производилась запись электрической активности мышц, участвующих в осуществлении дорсифлексии стопы: передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы. Регистрирующие фетровые электроды с фиксированным межэлектродным расстоянием – 2 см располагались в соответствии с анатомическими ориентирами двигательных точек исследуемых мышц [9]. Исследование электрической активности проводилось в режиме максимального произвольного напряжения мышцы. Для стандартизации сигнала участники исследования производили три максимальных изометрических сокращений мышцы длительностью 6 секунд с краткими перерывами между ними. Запись осуществлялась с помощью 8-канального электронейромиографа экспертного класса «Нейро-МВП-8» («Нейрософт», Иваново).

На этапе обработки сигнала проводился турно-амплитудный и спектральный анализ полученных данных. Граница минимальной амплитуды турна была установлена на 100 мкВ. Полученные данные проверяли на нормальность распределения с использованием тестов Шапиро–Уилка. Для оценки

статистической значимости различий между выборками применяли критерий Краскела-Уоллиса, а для оценки функциональных взаимоотношений между параметрами электрической активности мышц рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы 1-й группы установлено, что медиана максимальных значений амплитуды электрической активности левой передней большеберцовой мышцы на 27,7 % выше, чем правой, а межквартильный интервал – на 32 %. Медиана средних значений амплитуды электрической активности, напротив, была выше для правой передней большеберцовой мышцы на 12,5 %, а межквартильный интервал – на 25,7 %. Средние значения частоты электрической активности не отличались для левой и правой большеберцовых мышц (табл. 1).

Таблица 1
Параметры электрической активности передней большеберцовой мышцы и
длинного разгибателя большого пальца стопы у участников исследования 1-й
группы (Me [Q1;Q3])

Параметры ЭА	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая	1305,5 [934,5; 1965,5]	463 [385; 665]	280 [180; 324]
Передняя большеберцовая мышца правая	1022 [696,5; 1477,5]**	521 [378; 730]**	268 [196; 322]
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева	820 [467; 1282]	350,5 [248; 456]	164 [108; 236]
Длинный разгибатель большого пальца стопы справа	550 [330,5; 950]**	296 [206; 405]**	132 [84; 228]**

Примечания:

* – статистически значимые различия ($p < 0,05$)

** – статистически значимые различия ($p < 0,01$)

Электрическая активность длинного разгибателя большого пальца стопы слева выше, чем справа, что подтверждают более высокие значения медианы максимальной (на 49,1 %) и средней (на 18,4 %) амплитуды электрической активности, а также средней частоты (на 24,2 %). Межквартильные интервалы

значений максимальной и средней амплитуды также были больше для длинного разгибателя большого пальца стопы левой конечности (на 31,6 % и 4,5 % соответственно), а средней частоты – для правой (на 12,5 %) (табл. 1).

Параметры электрической активности контрлатеральных передних большеберцовых мышц участников исследования 2 группы не обнаруживали статистически значимых различий. Статистические значимые различия ($p < 0,01$) наблюдались между амплитудными значениями длинных разгибателей большого пальца левой и правой конечностей. Межквартильный интервал значений максимальной амплитуды электрической активности левой конечности отличался от правой в 1,7 раза, а левой – на 35 % (табл. 2).

Таблица 2

Параметры электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы у участников исследования 2-й группы (Me [Q1;Q3])

Параметры ЭА	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая	812 [414; 1238]	348 [238; 509]	204 [102; 264]
Передняя большеберцовая мышца правая	752 [415; 1014]	342 [234; 519]	184 [108; 292]
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева	706,5 [559; 1264]	306,5 [227; 362]	132 [74; 260]
Длинный разгибатель большого пальца стопы справа	670 [452; 874]**	296 [233; 333]**	128 [96; 220]

Примечания:

* – статистически значимые различия ($p < 0,05$)

** – статистически значимые различия ($p < 0,01$)

Выявленные различия в электрической активности мышц левой и правой конечностей с использованием метода поверхностной электромиографии можно считать проявлением функциональной латерализации [10].

При сравнении параметров электрической активности передних большеберцовых мышц у участников исследования 2-й группы установлено, что все параметры электрической активности имеют статистически значимые различия по сравнению с теми же параметрами участников исследования 1-й группы как правой, так и левой конечностей (табл. 1, 2).

Медиана значений максимальной амплитуды электрической активности левой передней большеберцовой мышцы участников исследования 2-й группы была ниже

значений 1-й группы на 60,7 %, а межквартильный интервал – на 25,1 %. Медиана значений средней амплитуды электрической активности этой же мышцы участников исследования 2-й группы была ниже значений 1-й группы на 60,7 %. Амплитудные значения электрической активности правой передней большеберцовой мышцы участников исследования 2-й группы также были ниже по сравнению со значениями 1-й группы. Медиана значений максимальной амплитуды – на 35 %, средней амплитуды – на 52,3 %, а межквартильного интервала – на 30,4 % и 23,5 % соответственно (рис. 1).

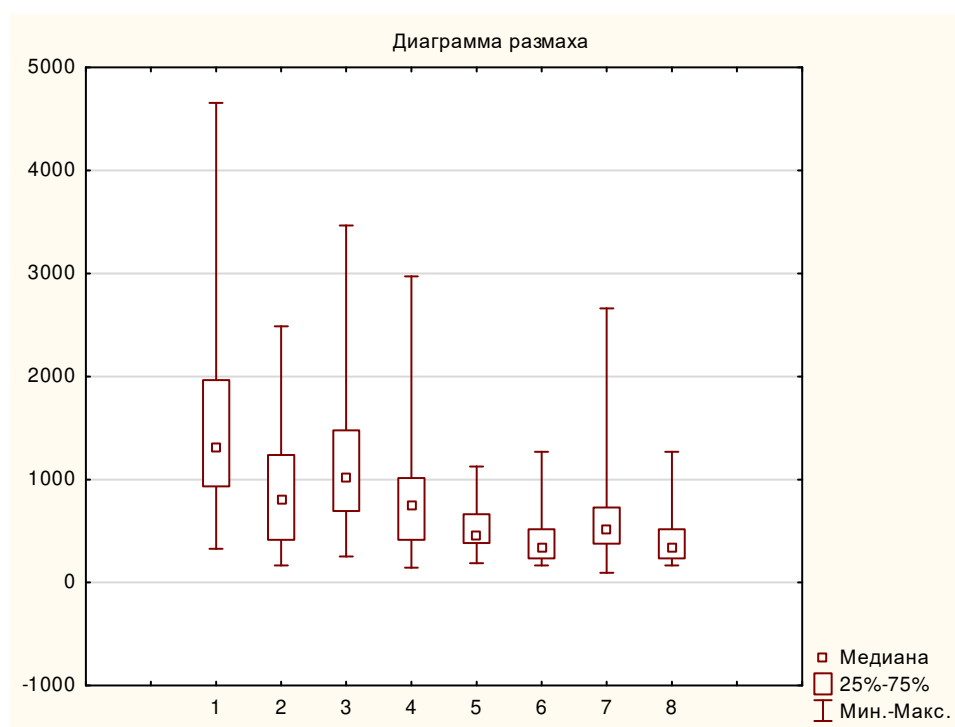


Рис. 1. Амплитудные характеристики электрической активности передней большеберцовой мышцы участников исследования 1-й и 2-й групп.

Примечания:

1– 4 – макс. ампл., мкВ:

- 1 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 2 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
- 3 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 4 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

5–8 – средн. ампл., мкВ:

- 5 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 6 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
- 7 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 8 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

Снижение вариабельности амплитудных значений электрической активности передних большеберцовых мышц у участников исследования 2-й группы характеризует ее упорядоченность. Более низкие значения медианы свидетельствуют о более экономичном функционировании мышц.

Медианы средних значений частоты электрической активности передних большеберцовых мышц были ниже у участников исследования 2-й группы по сравнению с 1-й группой слева – на 37,3 %, а справа – на 45,7 %. Межквартильный размах значений частоты электрической активности слева был меньше на 12,5 %, а справа – на 46 % больше (рис. 2).

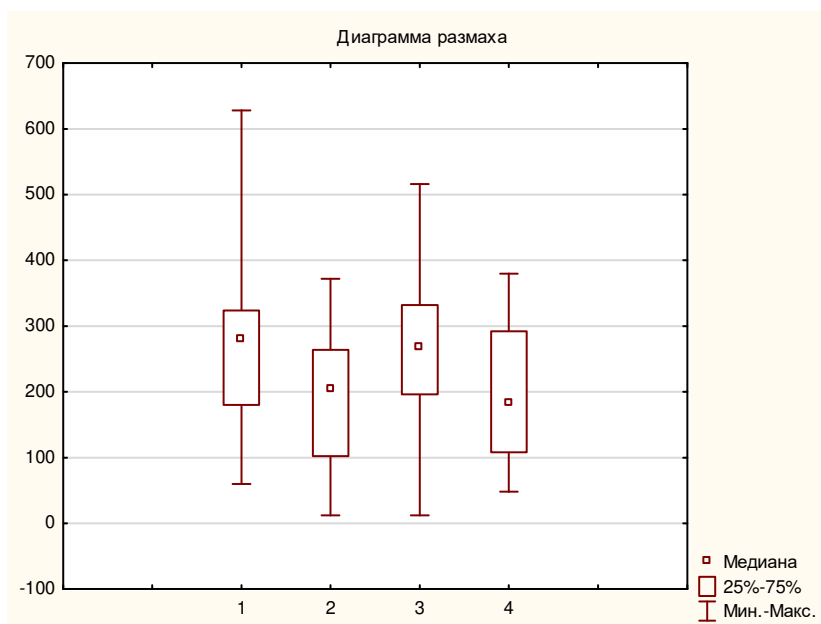


Рис. 2. Частотные характеристики электрической активности передней большеберцовой мышцы участников исследования 1-й и 2-й групп (ср. част., 1/с)

Примечания:

- 1 – левая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 2 – левая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)
- 3 – правая передняя большеберцовая мышца (1-я группа)
- 4 – правая передняя большеберцовая мышца (2-я группа)

Сравнение частотных характеристик ЭА передней большеберцовой мышцы подтвердило экономичность функционирования у участников исследования 2-й группы, проявляющееся снижением значений медианы. Более высокая вариабельность значений частоты ЭА правой мышцы, вероятно, свидетельствует об увеличении степеней свободы [11].

При сравнении показателей электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы у участников исследования 2-й группы наблюдались

отличия от 1-й группы по средним значениям амплитуды ЭА. Это выражалось в том, что величина межквартильного интервала у участников исследования 2-й группы была ниже в 1,5 раза для левой конечности и в 2 раза – для правой (рис. 3).

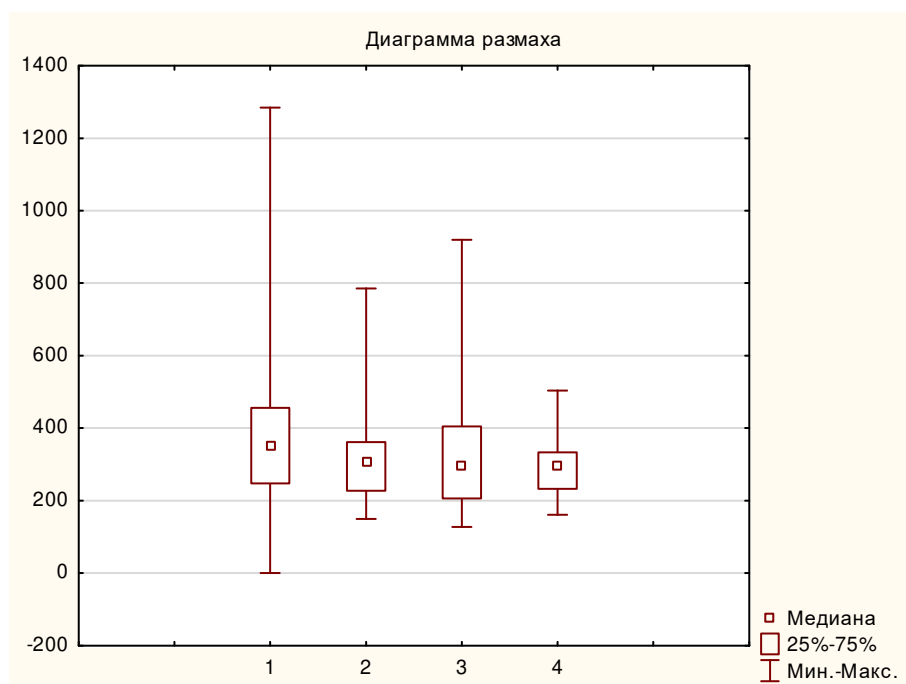


Рис. 3. Амплитудные характеристики электрической активности длинного разгибателя большого пальца участников исследования 1-й и 2-й групп (средн. ампл., мкВ)

Примечания:

- 1 – длинный разгибатель большого пальца слева (1-я группа)
- 2 – длинный разгибатель большого пальца слева (2-я группа)
- 3 – длинный разгибатель большого пальца справа (1-я группа)
- 4 – длинный разгибатель большого пальца справа (2-я группа)

Полученные данные доказывают высокую упорядоченность электрической активности исследуемых мышц у футболистов сборной КГМУ, что, вероятно, является результатом систематических тренировок.

Различия в частотных характеристиках ЭА длинных разгибателей большого пальца стопы наблюдались лишь для левой конечности. Значения медианы частоты электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы слева у участников исследования 2-й группы были ниже на 24,2 %, а межквартильный интервал больше на 45,3 %, чем у участников исследования 1-й группы (рис. 4).

Эти результаты могут свидетельствовать о большем количестве степеней свободы для средних значений частоты ЭА длинного разгибателя большого пальца стопы левой ноги, что увеличивает возможности эффективного владения мячом.

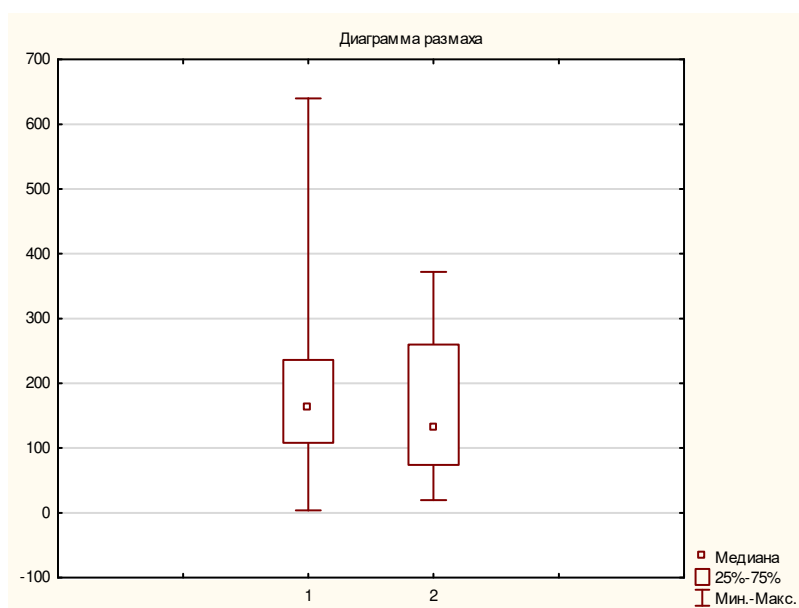


Рис. 4. Частотные характеристики электрической активности длинных разгибателей большого пальца стопы слева участников исследования 1-й и 2-й групп (ср. част., 1/с)

Примечания:

- 1 – длинный разгибатель большого пальца стопы слева (1-я группа)
- 2 – длинный разгибатель большого пальца стопы слева (2-я группа)

Полученные данные подвергались также корреляционному анализу, результаты которого представлены в таблице 3.

Анализ функциональной сопряженности исследуемых мышц показал, что между показателями ЭА левой и правой передней большеберцовых мышц участников исследования 1-й группы имеются положительные корреляционные связи средней силы. У участников исследования 2-й группы значения коэффициента корреляции, отражающих функциональные взаимосвязи по амплитудным значениям ЭА, были несколько ниже, а по частоте ЭА – выше.

Для длинных разгибателей большого пальца стопы у участников исследования 1-й группы были обнаружены положительные корреляционные связи средней силы между значениями максимальной и средней амплитуды электрической активности левых и правых мышц. У участников исследования 2-й группы между этими значениями были выявлены сильные положительные корреляционные связи. В то время как между значениями средней частоты электрической активности наблюдались слабые положительные корреляционные связи.

Корреляционный анализ электрической активности исследуемых мышц-синергистов левой и правой конечностей позволил установить, что у участников исследования 1-й группы между амплитудными значениями электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы левой конечности обнаруживались корреляционные связи средней силы, а между значениями их частоты – слабые (табл. 3).

Таблица 3

Корреляции частотно-амплитудных характеристик электрической активности передней большеберцовой мышцы и длинного разгибателя большого пальца стопы (значения r)

Сопоставляемые мышцы	Группы участников исследования	Макс. ампл., мкВ	Средн. ампл., мкВ	Средн. част., 1/с
Передняя большеберцовая мышца левая – передняя большеберцовая мышца правая	1-я группа	0,626*	0,509*	0,452*
	2-я группа	0,535*	0,355*	0,615*
Длинный разгибатель большого пальца стопы слева – длинный разгибатель большого пальца стопы справа	1-я группа	0,327*	0,224*	0,015
	2-я группа	0,663*	0,587*	0,155*
Передняя большеберцовая мышца левая – длинный разгибатель большого пальца стопы слева	1-я группа	0,584*	0,535*	0,129*
	2-я группа	0,732*	0,597*	0,547*
Передняя большеберцовая мышца правая – длинный разгибатель большого пальца стопы справа	1-я группа	0,229*	0,438*	0,236*
	2-я группа	0,252*	0,018	-0,475*

Примечания: * – статистически значимые значения r ($p < 0,05$)

У участников исследования 2-й группы положительные корреляционные связи средней силы обнаруживались между средними значениями амплитуды и частоты ЭА, а между максимальными значениями амплитуды ЭА корреляционные связи были сильными. Для исследуемых мышц правой конечности во 2-й группе исследования, напротив, положительные корреляционные связи были менее тесными или отсутствовали (по амплитудным значениям электрической

активности), а по частоте ЭА наблюдались отрицательные корреляционные связи средней силы (табл. 3).

Полученные данные можно интерпретировать с помощью синергетического подхода, в соответствии с которым мышечные синергии являются строительными блоками для регуляции движений центральной нервной системой. [12]. Центральная нервная система регулирует движение, объединяя небольшие группы мышц, что приводит к преобразованию программы движения на уровне задач в пространственно-временные паттерны мышечной активации. Важно, что межиндивидуальная вариабельность мышечных паттернов не влияет на результаты исследований, так как разные испытуемые в разных механических условиях используют одни и те же стратегии регуляции движений [13]. Выделяют две стратегии: мышечный паттерн, увеличивающий жесткость системы (отклонение возмущений) и мышечный паттерн, увеличивающий гибкость системы (повышение эффективности активного реагирования) [14]. Результаты корреляционного анализа подтверждают, что у футболистов сборной КГМУ имеются более тесные функциональные взаимосвязи между исследуемыми мышцами-синергистами левой конечности, что свидетельствует об увеличении жесткости данной системы мышц. Для правой конечности, напротив, система мышц: передняя большеберцовая мышца – длинный разгибатель большого пальца становится более гибкой. Таким образом, можно считать, что нами показаны периферические проявления реализации двигательной стратегии для исследуемых мышц-синергистов у футболистов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании данных об электрической активности мышц, полученных с помощью поверхностной электромиографии, можно судить об отсутствии функциональной латерализации передних большеберцовых мышц у молодых людей, систематически участвующих в футбольных тренировках.
2. Амплитудные характеристики электрической активности передних большеберцовых мышц и мышц-разгибателей большого пальца стопы у футболистов менее вариабельны, что свидетельствует о более жестком регулировании исследуемых мышц-синергистов.
3. Средние значения частоты электрической активности правой передней большеберцовой мышцы и левого длинного разгибателя большого пальца стопы у футболистов более вариабельны, что является отражением гибкого регулирования электрической активности исследуемых мышц.
4. Двигательная стратегия управления группой мышц: передняя большеберцовая мышца – длинный разгибатель большого пальца у футболистов направлена на увеличение жесткости данной системы для левых мышц и уменьшение ее для правых.
5. Выявленные изменения электрической активности мышц, осуществляющих дорсифлексию стопы, характеризуют результаты систематических футбольных тренировок и играют роль в совершенствовании техники ведения мяча.

Список литературы

1. Киркендалл Д. Анатомия футбола / Д. Киркендалл; пер. с англ. С. Э. Борич. – Минск: Попурри, 2012. – 240 с.
2. Lezak B. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Extensor Hallucis Longus Muscle / B. Lezak, S. Summers // In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021.
3. Desmedt J. E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle / J. E. Desmedt, E. Godaux // J. Physiol. – 1977. – Vol. 264, No 3. – P. 673–693.
4. Farina D. Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging / D. Farina, L. Arendt-Nielsen, R. Merletti, T. Graven-Nielsen // Journal of Neuroscience Methods. – 2002. – Vol. 115, No 1. – P. 1–12.
5. Del Vecchio A. Distribution of muscle fibre conduction velocity for representative samples of motor units in the full recruitment range of the tibialis anterior muscle / A. Del Vecchio, F. Negro, F. Felici, D. Farina // Acta Physiol. (Oxf). – 2018. – Vol. 222, Iss. 2.
6. Elgafy H. Extensor hallucis longus innervation: an anatomic study. / H. Elgafy, N. A. Ebraheim, P. E. Shaheen, R. A. Yeasting // Clin. Orthop. Relat. Res. – 2002. – Vol. 398. – P. 245–51.
7. Macefield V. G. Discharge behaviour of single motor units during maximal voluntary contractions of a human toe extensor / V. G. Macefield, A. J. Fuglevand, J. N. Howell, B. Bigland-Ritchie // J. Physiol. – 2000. – Vol. 528 (Pt 1). – P. 227–234.
8. Leitch M. Comparison of contractile responses of single human motor units in the toe extensors during unloaded and loaded isotonic and isometric conditions / M. Leitch, V. G. Macefield // J. Neurophysiol. – 2015. – Vol. 114, No 2. – P. 1083–1089.
9. Николаев С. Г. Атлас по электромиографии / С. Г. Николаев: — Иваново: ИП К «ПресСто», 2010. – 468 с.
10. Брагина Н. Н. Функциональные асимметрии человека. 2-е изд., перераб. и доп. / Н. Н. Брагина, Т. А. Доброхотова – М.: Медицина. – 1988. – 237 с.
11. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность: [Сборник] / Н. А. Бернштейн: Изд. подгот. И. М. Фейгенберг; Под ред. О. Г. Газенко; – М.: Наука, 1990. – 494 [1] с.
12. Mehrabi N. Can altered muscle synergies control unimpaired gait? / N. Mehrabi, M. H. Schwartz, K. M. Steele // J. Biomech. – 2019. – Vol. 90. – P. 84–91.
13. Esmaeili J. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions / J. Esmaeili, A. Maleki // Australas Phys Eng Sci Med. – 2019. – Vol. 42, No. 3. – P. 827–838.
14. Bunderson N. E. Reduction of neuromuscular redundancy for postural force generation using an intrinsic stability criterion / N. E. Bunderson, T. J. Burkholder, L. N. Ting // J. Biomech. – 2008. – Vol. 41. – P. 1537–1544.

**CHANGES IN THE ELECTRICAL ACTIVITY OF THE FEET DORSIFLEXION
MUSCLES AS A RESULT OF SYSTEMATIC FOOTBALL TRAINING**

Bobrovsky E. A., Privalova I. L., Bobrovsky E. A.

Kursk State Medical University, Kursk, Russia

E-mail: ir_priv@mail.ru

The goal of this research is to investigate changes in the electrical activity and functional relationships of the tibialis anterior and abductor pollicis longus muscles as a result of regular football training sessions. The study engaged young people from the Kursk State Medical University (KSMU): Group 1, also referred to as the "observational group" – students attending only Physical Education classes (n=52) and Group 2,

represented here as a "Football team" – students attending football practice sessions and participating in football matches on a regular basis (n=26). In the observational group, the median of the maximum values of the indicators for assessing the activity of the left tibialis anterior muscle in the study subjects was 27.7 % higher than of the right one, and the interquartile range was 32 % higher. The median of the electrical activity mean observation, on the contrary, was higher for the right tibialis anterior muscle by 12.5 %, and the interquartile range was higher by 25.7 %. These differences in the EA of the muscles of the left and right limbs can be considered as a sign of functional lateralization. It has not been identified for the tibialis anterior muscles in youth, who attend football practice sessions on a regular basis. At the same time, The amplitude response of the EA of the tibialis anterior muscles and the abductor pollicis longus of the study subjects of the 2nd group was less variable ($p < 0.01$). The interquartile range for evaluating the activity of the left limb differed from the right by 1.7 times. The comparative analysis of the evaluation of the characteristics of the EA values of the tibialis anterior muscles and abductor pollicis longus of study subjects from the groups 1 and 2 revealed their greater variability in the second group. The interquartile range of EA values of the left tibialis anterior muscle was lower by 25.1 %, the right one – by 30.4 %. The interquartile range of mean EA values of the right tibialis anterior muscle in football players was less than 23.5 % compared with the values of the study subjects in the observational group. The variability of the midvalues of the EA amplitude of the abductor pollicis longus of the left limb was 1.5 times less in football players, and that of the right limb – was 2 times less. These results are probably occasioned by the transition of the muscles under study to a more sparing regulation level. At the same time, interquartile ranges show that rates of EA in the right tibialis anterior muscle and the left abductor pollicis longus in football players are more variable (by 46 % and 45.3 %, respectively), which is probably indicative of the flexible regulation of the EA of the muscles under study. The results of the correlation analysis substantiate that football players have closer functional interrelationships between the studied synergistic muscles of the left limb, which is illustrative of an increase in the rigidity of this muscle apparatus. And on the contrary – for the right limb the muscle apparatus of the tibialis anterior and abductor pollicis longus system becomes more flexible. Summing up what has been said, the study shows the peripheral manifestations of embodying the kinetic strategy for the studied synergistic muscles in football players.

Keywords: myoelectrical activity, *tibialis anterior* muscle, *abductor pollicis longus*, correlation analysis, football training sessions.

References

1. Kirkendall D., Donald T. *Soccer anatomy*, Champaign, interpreted by S.E. Borich, Minsk, Popurri, 240 p. (2012).
2. Lezak B., Summers S. *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Extensor Hallucis Longus Muscle*, In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); (2021).
3. Desmedt J. E., Godaux E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle, *J. Physiol.*, **264**, 673 (1977).
4. Farina D., Arendt-Nielsen L., Merletti R., Graven-Nielsen T. Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging, *Journal of Neuroscience Methods.*, **115**, 1 (2002).

5. Del Vecchio A., Negro F., Felici F., Farina D. Distribution of muscle fibre conduction velocity for representative samples of motor units in the full recruitment range of the tibialis anterior muscle, *Acta Physiol. (Oxf)*, **222**, Iss. 2. (2018).
6. Elgafy H., Ebraheim N. A., Shaheen P. E., Yeasting R. A. Extensor hallucis longus innervation: an anatomic study, *Clin. Orthop. Relat. Res.* **398**, 245 (2002).
7. Macefield V. G. Fuglevand A. J., Howell J. N., Bigland-Ritchie B. Discharge behaviour of single motor units during maximal voluntary contractions of a human toe extensor, *J. Physiol.*, **528** (Pt 1), 227 (2000).
8. Leitch M., Macefield V. G. Comparison of contractile responses of single human motor units in the toe extensors during unloaded and loaded isotonic and isometric conditions, *J. Neurophysiol*, **114**, 1083 (2015).
9. Nikolaev S. G. *Atlas on electromyography*, 468 p. (Ivanovo, PresSto, 2010).
10. Bragina N. N., Dobrokhotova T. A. *Functional Asymmetries in Humans*, 2nd ed., revised, 237p. (M: Meditsina, 1988).
11. Bernstein N.A. *Physiology of movements and activity*, 494 p. (M.: Nauka, 1990).
12. Mehrabi N., Schwartz M. H., Steele K. M. Can altered muscle synergies control unimpaired gait? *J. Biomech*, **90**, 84 (2019).
13. Esmaeili J., Maleki A. Comparison of muscle synergies extracted from both legs during cycling at different mechanical conditions, *Australas Phys Eng Sci Med.*, **42**, 827 (2019).
14. Bunderson N. E., Burkholder T. J. Ting L. N. Reduction of neuromuscular redundancy for postural force generation using an intrinsic stability criterion, *J. Biomech.*, **41**, 1537 (2008).

УДК 579.695

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОМА АКТИВНОГО ИЛА И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕГО МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Брындина Л. В., Корчагина А. Ю.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия
E-mail: bryndinv@mail.ru*

Показана возможность оптимизации микробиома активного ила сточных вод, которая достигается корректировкой аборигенного бактериального сообщества микроорганизмами желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) животных (свиньи). Внесение 5 % ЖКТ подавляло рост нитчатых бактерий. Увеличилась доля гетеротрофных бактерий ответственных за процессы денитрификации в активном иле. Доля *Lactococcus* увеличилась в 2,7 раза, *Acinetobacter* – в 3,1 раза, *Pseudomonas* – в 4,1 раза, *Lactobacillus* – в 4,4 раза, *Streptococcus* – в 5,2 раза, *Escherichia/Shigella* – в 20 раз. Установлена положительная динамика между процессами флокулообразования и денитрификации. Наибольшая денитрификация соответствовала максимальному размеру флокул. Флокулы размером 240 нм через 1,5 ч снижали содержание нитратов в стоке на 85,4 %. В то же время, не установлено корреляционной зависимости между значением ζ -потенциала и эффективностью денитрификации в сточной воде. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при отслеживании процессов нитрификации/денитрификации в сточных водах и снижении нитчатого вспухания активного ила.

Ключевые слова: микробиом; активный ил; сточные воды; аэробная денитрификация; анаэробные зоны; вспухание активного ила.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время появилось много исследований по повышению качества и эффективности очистки сточных вод. Основной проблемой при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод является снижение концентрации биогенных элементов в очищенных стоках. В противном случае нарушается экологическое равновесие водоемов и, как следствие, в результате антропогенной эвтрофикации возможно полное разрушение экосистемы водного объекта. Наиболее сложным во всех биологических способах очистки считается удаление биогенного азота. Процесс удаления биологического азота включает в себя несколько стадий:

- аэробная нитрификация аммонийного азота до нитритов и нитратов;
- анаэробная денитрификация нитратов до свободного азота.

Высокая концентрация аммонийного азота (более 50 мг/л) требует большого количества кислорода (4,6 мг O_2 на 1 мг окисленного азота) на окисление органических примесей сточной воды [1]. Это может увеличивать стрессовые нагрузки на микроорганизмы из-за нехватки кислорода, приводить к сукцессии биоценоза ила и развитию процесса его вспухания. В таких условиях преимущественное развитие получают микроорганизмы с большой поверхностью

для поглощения кислорода – нитчатые [2, 3]. Вспухание активного ила – это ответ его биоценоза на неблагоприятные факторы. Поэтому активизация ферментативной активности микрофлоры активного ила позволит создать условия, при которых улучшится качество очистки стоков.

Денитрификация осуществляется в анаэробных условиях гетеротрофными денитрифицирующими микроорганизмами. Эффективность и скорость этого процесса зависят от присутствия в сточных водах легкоокисляемых форм органического углерода. В большинстве случаев дополнительные источники его не вводятся в сточные воды по причине экономической нецелесообразности. При этом отмечается, что потребность в легкоокисляемом источнике углерода для обеспечения эффективной денитрификации в данном процессе снижается в силу того, что некоторые денитрифицирующие микроорганизмы, участвующих в одновременной нитрификации и денитрификации, являются автотрофными [4].

Большинство исследований в области очистки сточных вод биологическими методами направлено на совершенствование анаэробных и аэробных стадий процесса. Перспективным направлением в этой области считается процесс «аэробной денитрификации» [4]. Внутри биофлокул активного ила в результате распределения градиентов концентрации растворенного кислорода одновременно протекают процессы нитрификации и денитрификации. В центре флокул находятся анаэробные зоны, в которых гетеротрофные денитрифицирующие бактерии восстанавливают нитраты. Эксперименты в этой области ведутся активно и в нашей стране, и за рубежом, но в основном опытные разработки направлены на совершенствование конструктивных особенностей оборудования и технологических режимов [5–8].

Исследование популяций микроорганизмов активного ила, участвующих в процессах «аэробной денитрификации», изучено недостаточно. Следует отметить, что сведения о микробиологической составляющей осадков сточных вод основаны в большинстве случаев на классических микробиологических способах их идентификации. Они не позволяют дать полное представление о микроорганизмах, населяющих активный ил.

Представители каждого рода бактерий в биоценозе активного ила выполняют определенные функции и задачи. Чем больше их разнообразие, тем больше возможностей взаимодополнять, обмениваться необходимыми веществами, и тем устойчивее система в целом.

В последнее время широко изучаются микробиомы животных [9–17]. Проводятся полноценные исследования по определению их видового разнообразия. Многие процессы в кишечном симбиозе протекают при объединении микроорганизмов в консорциумы. Представители одних видов микроорганизмов ферментируют сложные органические субстраты для других. Это позволило нам предположить, что микробиом желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) животных может являться дополнительным поставщиком источников питания в легкоусвояемой форме для микроорганизмов активного ила.

Качество биологической очистки обуславливается не только видовым разнообразием активного ила. Процессы денитрификации при очистке сточных вод

можно оценивать по интенсивности флокулообразования и величине ζ -потенциала [18, 19].

Гульшин И. А. подчеркивает, что более крупные флоккулы способствуют созданию стабильных аноксидных зон. Максимальная эффективность одновременной нитрификации и денитрификации была достигнута при размерах флоккул активного ила в диапазоне от 200 до 250 мкм [18].

Так же сотрудники ЗАО «Проектно-конструкторское предприятие Адсорбер» и Пермского национального исследовательского политехнического университета отмечают, что процесс денитрификации можно отслеживать по ζ -потенциалу [19]. Наиболее эффективно процесс протекает в диапазоне от +50 до -50 мВ и продолжительности 1ч.

Большинство исследователей действительно отмечают, что высокие положительные или отрицательные значения ζ -потенциала (более 30 мВ) приводят к стабилизации системы и утверждают – чем выше его значение, тем устойчивее биосуспензия [20]. Однако Роланд с соавторами [21], напротив, не наблюдали корреляции между высокими значениями ζ -потенциала (от -43,1 до -50,2 мВ) и общей стабильностью. Стабильные эмульсии в этом случае демонстрировали самый низкий ζ -потенциал.

В связи с этим, целью работы было исследовать взаимодействие микроорганизмов активного ила и ЖКТ животных и оценить последствия этого влияния на эффективность процесса денитрификации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- обосновать целесообразность создания модифицированного консорциума микроорганизмов, способного подавить развитие нитчатых бактерий;
- определить условия, влияющие на процесс денитрификации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись активный ил и сточные воды левобережных городских очистных сооружений г. Воронежа, кишечник свиней, предоставленный ООО «Бутурлиновский мясокомбинат».

Определение α -разнообразия проводили по индексу Шеннона [22, 23].

Выделение ДНК и полученных образцов производили с помощью коммерческого набора ZymoBIOMICS DNA Microprep Kit (Zymo research, USA) в соответствии с протоколом.

В качестве таргетного сегмента бактериальной ДНК для исследования микробиома с помощью секвенирования на платформе Ion Torrent PGM использовали гипервариабельный участок V3 гена 16S rRNA. Данный ген присутствует у всех представителей бактерий, содержит достаточную филогенетическую информацию и характеризуется выраженной генетической изменчивостью у прокариотических организмов. Для изоляции бактериальной ДНК проводили ПЦР с универсальными праймерами 337F (5'-GACTCCTACGGGAGGCGWGCAG-3') и 518R (5'-GTATTACCGCGGCTGCTGG-3'), ограничивающими гипервариабельный участок V3 гена 16S rRNA. ПЦР проводили

в следующем амплификационном режиме: денатурация при 94 °C – 4 мин, затем 37 циклов: 94 °C – 30 с, 59 °C – 30 с, 72 °C – 30 с, с финальной элонгацией при 72 °C – 5 мин.

После амплификации проводили очистку ДНК из реакционной ПЦР-смеси с помощью коммерческого набора CleanMag DNA (Evrogen, Россия).

Для приготовления библиотек секвенирования на платформе Ion Torrent PGM использовали набор реактивов NEBNext Fast DNA Library Prep (New England Biolabs, США).

Секвенирование проводили на платформе IonTorrent PGM с использованием реактивов и систем Ion PGM Hi-Q View Sequencing Kit, Ion OneTouch 2 System, and Ion PGM Hi-Q View OT2 Kit (Thermo Fisher Scientific, USA). Результаты секвенирования получены в формате BAM и преобразованы в формат FASTQ с помощью программного обеспечения SAMtools v.1.2.

Демультимплексирование выполнялось с помощью приложения fastq-multx пакета программ ea-utils v.1.3. Чтения отфильтрованы на основе ожидаемого количества ошибок с использованием максимального ожидаемого отсека ошибок 1.0. Поиск OTU производился с использованием алгоритма UNOISE2. Фильтрация считываний, идентификация уникальных последовательностей и кластеризация для поиска OTU выполнялись с использованием программного обеспечения USEARCH v.10.0.240. Таксоны микроорганизмов в образцах были идентифицированы с использованием базы данных SILVA v.123

Величину ζ -потенциала рассчитывали по формуле:

$$\zeta = (U \cdot \mu \cdot L) / (\epsilon_o \cdot \epsilon \cdot E),$$

где U – электрофоретическая скорость, м·с⁻¹;

μ – вязкость воды при температуре опыта, м²·с⁻¹;

$\epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Кл/(В·м);

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды;

E – разность потенциалов внешнего электрического поля, В;

L – расстояние между электродами, м.

Определение ζ -потенциала основано на способности бактериальных клеток перемещаться в электрическом поле к одному из полюсов. Подсчет количества бактериальных клеток проводили в камере Горяева под микроскопом. Средой служил физиологический раствор, который активировали в электроактиваторе «Эсперо-1». Использовали свежеприготовленные католит и анолит, а также растворы, в которых требуемые величины pH, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) получали, добавляя фосфатный буфер.

Определение массовой концентрации нитрат-иона проводили по ГОСТ 33045-2014. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Сущность метода заключается во взаимодействии нитратов с салициловокислым натрием в сернокислой среде с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет, и последующим фотометрическим определением и расчетом массовой концентрации нитратов в пробе исследуемой воды. Содержание нитрат-ионов, X , мг/дм³ рассчитывали по формуле:

$$X = C \times K / V,$$

где C – содержание нитрат-ионов, найденное по графику, мг/дм³;

K – коэффициент градуировочной характеристики, рассчитанный по формуле $K = C_i/A_i$ (где C_i – массовая концентрация ионов аммония в i -м градуировочном растворе, мг/дм³; A_i – среднеарифметическое значение оптической плотности i -го градуировочного раствора за вычетом среднеарифметического значения оптической плотности холостой пробы, ед.опт.пл.)

V – объем исследуемой пробы, взятой на анализ, дм³.

Определение размера флуккул проводили методом светорассеяния.

Очистку сточных вод проводили микробиомом кишечника свиней в концентрации 5 % к массе активного ила. Пробы культивировали в шейкере-инкубаторе фирмы Biosan при температуре 25 °С, начальном рН = 7,0 в течение 72 ч. при скорости вращения 200 об/мин.

Все опыты, описанные в работе, проводили 3-х кратной повторности. В таблицах и рисунках показаны данные, где каждое значение есть среднее из трех определений. Обсуждаются только те результаты, которые были воспроизводимы в каждом опыте. При математической обработке результатов использовали критерий Стьюдента. Достоверными считали различия с уровнем значимости $q=5\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ бактерий активного ила и ЖКТ на основе данных секвенирования показал, что наибольшая доля микроорганизмов приходится на тип Firmicutes (табл. 1). Вероятно, бактерии данного филума ответственны за большую часть трансформационных процессов в активном иле и ЖКТ. В процессе ферментации они производят ряд важных метаболитов, таких как витамины и жирные кислоты с короткой цепью, обладают амила- и целлюлозолитической активностью. Большинство Firmicutes спорообразующие, что дает им преимущество при выживании в неблагоприятных условиях.

Доля бактерий филума Bacteroidetes, после внесения в активный ил 5 % микробиома кишечника свиньи, увеличилась в 1,7 раза (табл. 1). Bacteroidetes благодаря наличию амила- и протеолитических ферментов способны расщеплять не только простые и сложные сахара, но и белки. Возможно, увеличение Bacteroidetes связано со спецификой веществ, ферментируемых микробиомом ЖКТ свиньи. Высокое содержание в кишечнике белков активизирует рост Bacteroidetes. Многие представители филума Bacteroidetes выполняют сложные метаболические превращения.

Представители типа Actinobacteria в активном иле встречались чаще, чем в ЖКТ. После внесения 5 % ЖКТ в активный ил, их доля снизилась в 5,5 раза (табл. 1). Следует отметить, что 42,5 % из них в активном иле была представлена аэробными нитчатыми бактериями родов Gaiella, Intrasporangium, Dietzia. Присутствие этих микроорганизмов свидетельствует о предрасположенности исследуемого активного ила к вспуханию. Резкое снижение Actinobacteria после добавления ЖКТ в активный ил, скорее всего, связано с тем, что микробиоценоз кишечника свиньи антагонистически вытесняет представителей данного филума.

Тип *Proteobacteria* включает в себя широкий спектр грамотрицательных микроорганизмов. В то время как основную массу бактерий ЖКТ составляют облигатные анаэробы, представители типа *Proteobacteria* являются факультативными анаэробами. *Proteobacteria* способны продуцировать нитраты, адаптироваться к экстремальным условиям окружающей среды. Их содержание практически оставалось на одном уровне.

Тип *Verrucomicrobiota* сбраживает различные сахара. Некоторые представители окисляют метан. По типу дыхания могут быть аэробами и факультативными анаэробами, по отношению к температуре: мезофилы [16]. В нашем исследовании содержание бактерий типа *Verrucomicrobiota* после добавления в активный ил ЖКТ возросло в 18,5 раз (табл. 1).

Появление в активном иле представителей типов *Fusobacteriota*, *Campilobacterota* свидетельствовало о низком содержании кислорода в стоке. Они требовательны к газовому составу среды и не растут при содержании кислорода более 5 % [24].

Таблица 1

Соотношение основных филумов микробиоты

Тип (филум)бактерий Указать классиф. единицы	Активный ил	Кишечник свиньи	Активный ил+ 5 % кишечник свиньи
Firmicutes	61,0	53,1	54,3
Bacteroidetes	13,2	21,9	22,6
Actinobacteria	9,3	6,3	1,7
Proteobacteria	15,5	15,6	17,7
Verrucomicrobiota	0,2	3,1	3,7
Fusobacteriota	0,2	-	-
Campilobacterota	0,6	-	-

Fusobacteriota и *Campilobacterota* – анаэробные бактерии, обладают низкой ферментативной активностью. Следует отметить, что представители данных типов могут иметь нитевидную форму [24], а значит усиливать эффект вспухания активного ила. Вероятно, микробиом ЖКТ свиньи, внесенный в аборигенную микрофлору активного ила, подавляет рост представителей *Fusobacteriota* и *Campilobacterota*, корректируя тем самым присутствие нитевидных форм бактерий в активном иле (табл. 1).

Анализ состава микробиомов на уровне класса (рис. 1) показал, что самыми распространенными желудочно-кишечными микроорганизмами типа *Firmicutes* являются представители класса *Clostridia*. Эти же представители преобладали и в активном иле. Но микроорганизмов класса *Clostridia* на 11,9 % в ЖКТ было больше, чем в активном иле (рис. 1). Полученные экспериментальные данные совпадают с исследованиями [25].

Интересен тот факт, что доля бактерий класса Bacilli (тип Firmicutes), обнаруженных в активном иле, увеличилась на 2 % после добавления микробиома ЖКТ.

Среди представителей типа Bacteroidetes преобладали бактерии класса Bacteroidia. Можно отметить, что микробиом ЖКТ активизировал развитие представителей данного класса в активном иле на 2,9 %.

Тип Proteobacteria был представлен, в основном, бактериями класса Gammaproteobacteria. Эти микроорганизмы преобладали в активном иле, многие из них способны были к расщеплению белков, липидов и углеводов. Внесение микробиома ЖКТ спровоцировало их рост в активном иле на 3,7 %.

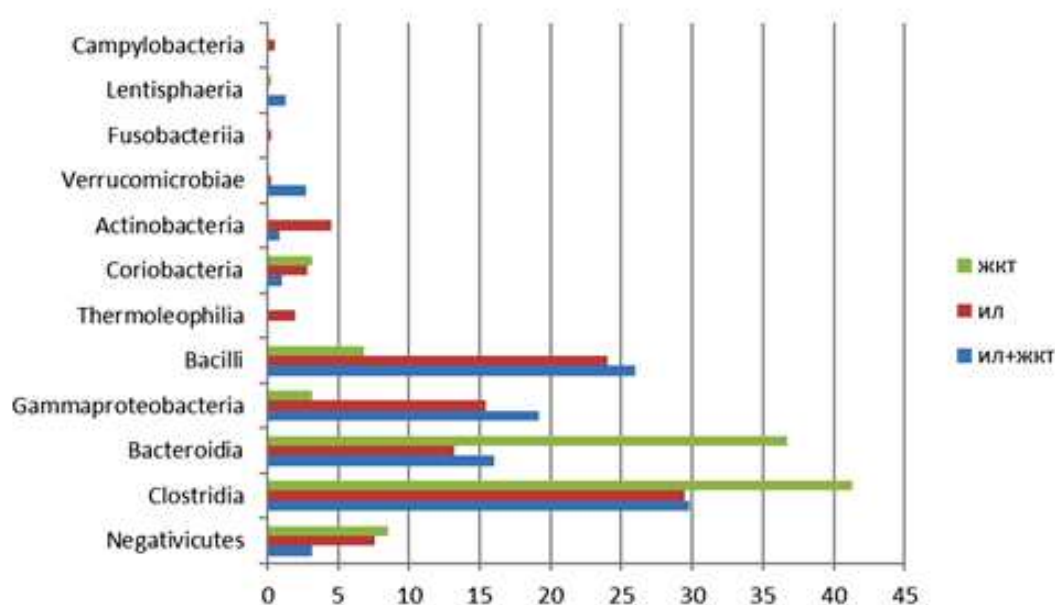


Рис. 1. Таксономический профиль микробиома ила, ЖКТ, ила + ЖКТ, определенный до уровня класса, %.

Полученные результаты позволяют предположить, что микроорганизмы ЖКТ, внесенные в микробиоту активного ила, несмотря на высокую долю анаэробных бактерий, способствовали снижению нитчатых форм бактерий. Полностью исчезли представители классов Thermoleophilia, Fusobacteriia, Lentisphaeria. Отмечена положительная динамика взаимодействия микробиоты ЖКТ и активного ила.

Внутри класса Clostridia преобладали представители семейства Ruminococcaceae и Lachnospiraceae (рис. 2). Внесение микробиома в активный ил привело к уменьшению бактерий Ruminococcaceae на 5,2 % , Lachnospiraceae – на 1,6 % и к активному росту семейства Oscillospiraceae, численность которых увеличилась в 2 раза.

Из представителей класса Bacilli больше всего в активном иле было микроорганизмов семейств Staphylococcaceae и Carnobacteriaceae, количество которых, после взаимодействия с микробиомом ЖКТ, сократилось в 2,4 и 39 раз соответственно. Одновременно наблюдалось повышение Lactobacillaceae в 4,3 раза и Streptococcaceae – в 3,6 раза. Интересно отметить, что возросло число тех бактерий, которые способны к ферментации не только углеводов, но и белков, а снизилось присутствие в активном иле представителей микробного сообщества, отдающих предпочтение углеводам. Видимо, микробиом ЖКТ, внесенный в аборигенную микрофлору активного ила, активизировал рост микроорганизмов с протеолитическими ферментами.

Из класса Campilobacterota более чем в 3 раза повысилась доля представителей семейства Enterobacteriaceae, которые также проявляют высокую активность в отношении белковых загрязнений. Общая численность бактерий семейства Pseudomonadaceae и Moraxellaceae почти не изменилась после внесения микробиома ЖКТ. Одновременно с этим в 7 раз сократилось количество Sutterellaceae (рис. 2) и полностью исчезли микроорганизмы семейства Arcobacteraceae.

Большая часть типа Bacteroidetes (класс Bacteroida) была представлена семейством Prevotellaceae (рис. 2). Их доля в активном иле после внесения микроорганизмов ЖКТ возросла на 1,6 %. Бактерии семейств Bacteroidaceae увеличились в 7,8 раза, Rikenellaceae – в 4,6, Muribaculaceae – в 11 раз. Рост их численности можно объяснить наличием универсального набора ферментов [26]. Bacteroides способны переключать экспрессию генов с одного метаболического пути на другой, так как обладают высокой гибкостью к использованию различных субстратов [27].

Общая численность семейства Tannerellaceae сократилась почти в 2 раза. Это связано с тем, что представители рода Macellibacteroides данного семейства отрицательно коррелируют с концентрацией кислорода [28], которая существенно выше в активном иле, чем в ЖКТ.

Взаимодействие микробиоты активного ила и ЖКТ привело к появлению семейств Barnesiellaceae и Marinifilaceae в активном иле. Это повлияло на снижение бактерий семейства Clostridiaceae в 4,8 раза в активном иле (рис. 2). Полученные результаты исследования совпадают с данными экспериментов группы экологов во главе с I. Lagkouravdos, которые также отметили влияние Marinifilaceae на подавление размножения Clostridiaceae [26].

Сравнительный анализ активного ила на уровне родов (рис. 3) показал следующее. После внесения микробиома ЖКТ в активный ил полностью исчезли представители нитчатых форм бактерий (Gaiella, Intrasporgium, Dietzia).

Увеличилась численность некоторых родов анаэробных бактерий. Так, представители рода UCG-002 заняли лидирующую позицию. Их количество удвоилось. Prevotella по распространенности заняли 2-е место. Однако, если внесение микробиома ЖКТ в активный ил достоверно повышало UCG-002, то Prevotella изначально было больше в ЖКТ, чем в активном иле. Накопление доли этих микроорганизмов в микробиоте «активный ил + ЖКТ» составило 1,43 % (табл. 2). Возрастание анаэробных бактерий в активном иле, связанное с

преобладанием их в ЖКТ, возможно активизировало конкуренцию между отдельными представителями за источники питания. Это позволило создать анаэробные условия в активном иле для активизации процессов денитрификации [29].

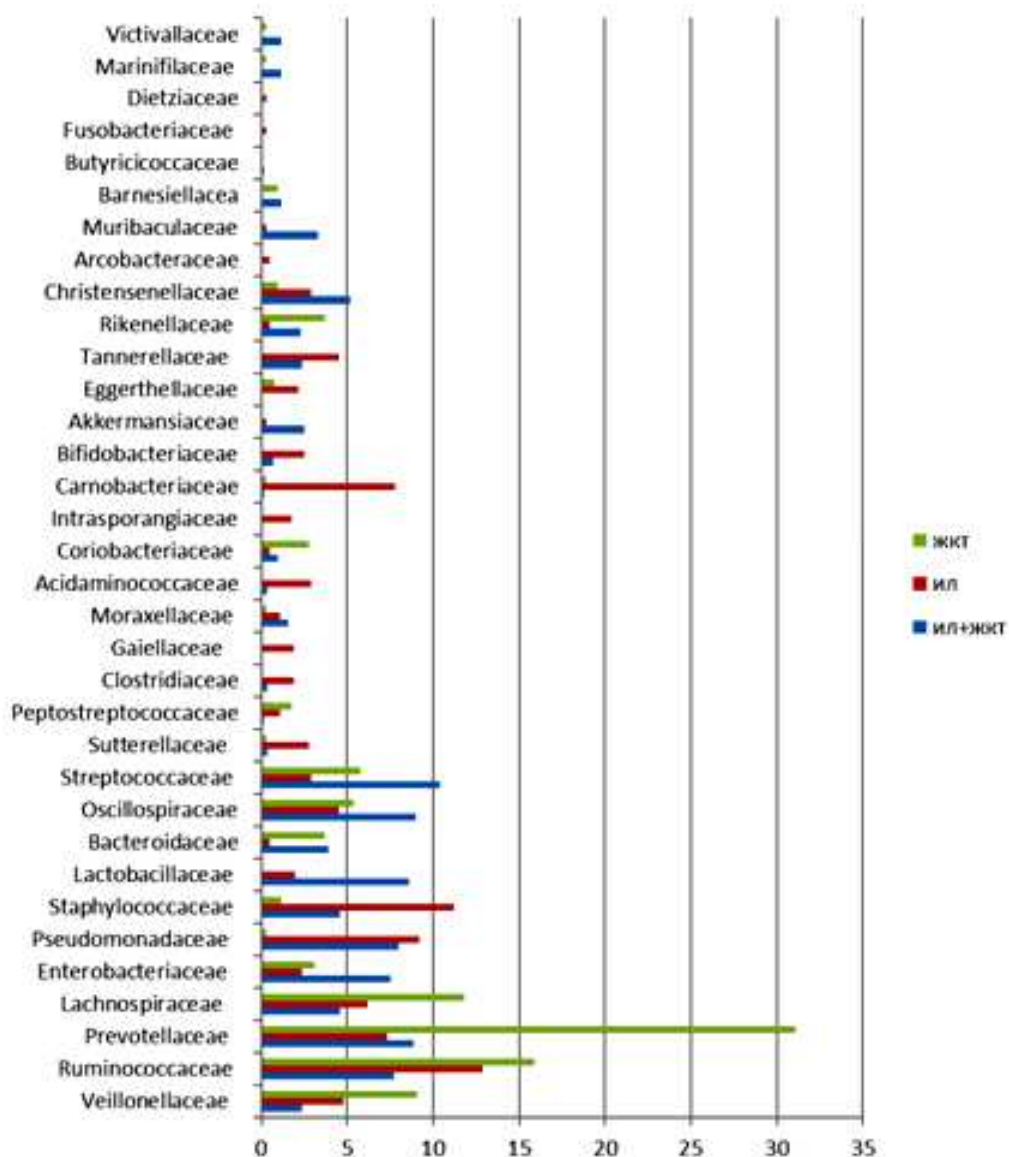


Рис. 2. Таксономический профиль микробиома ила, ЖКТ, ила + ЖКТ, определенный до уровня семейства, %.

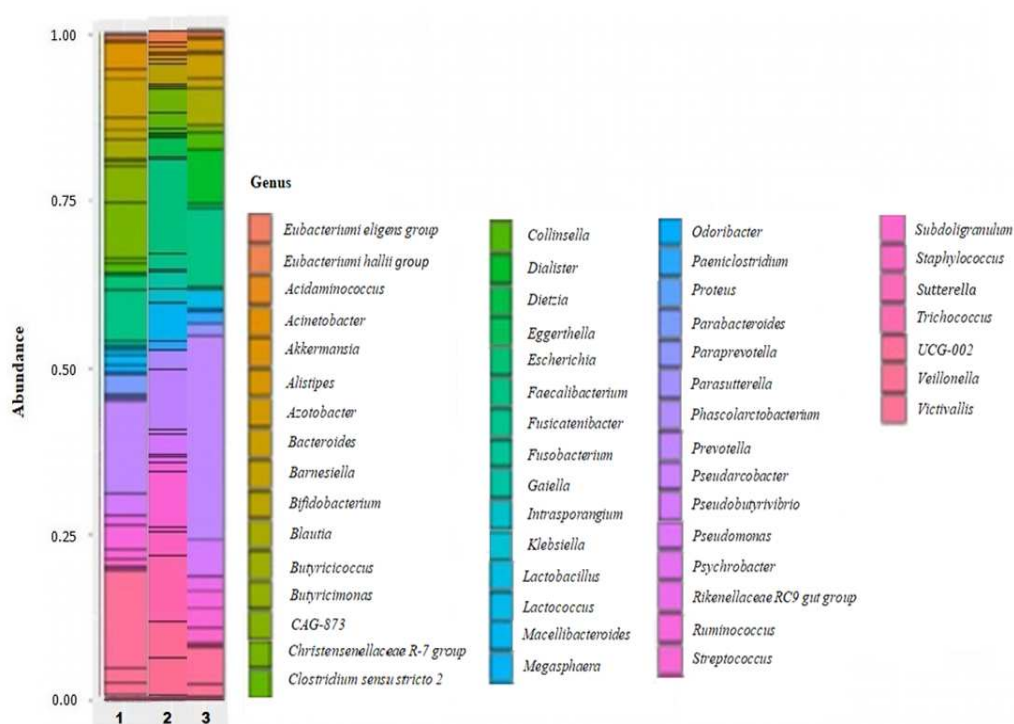


Рис. 3. Родовое разнообразие исследуемых образцов микробиома: 1 – ил+ЖКТ, 2 – ил, 3 – ЖКТ.

После обогащения активного ила микробиомом ЖКТ отмечен прирост гетеротрофных бактерий (табл.2). Микроорганизмы рода *Lactococcus* увеличились в 2,7 раза, *Acinetobacter* – в 3,1 раза, *Pseudomonas* – в 4,1 раза, *Lactobacillus* – в 4,4 раза, *Streptococcus* – в 5,2 раза, *Escherichia/Shigella* – в 20 раз. Бактерии перечисленных родов активно участвуют в процессах денитрификации [30–33].

Также было оценено α -разнообразие каждого из исследуемых образцов с применением индекса Шеннона. Индекс Шеннона для микробиома ЖКТ свиньи составил 2,8, для активного ила – 3,1, для активного ила с 5 % ЖКТ – 3,3. На основании полученных данных можно отметить, что сообщество микроорганизмов активного ила разнообразнее ЖКТ. Увеличение его значения после активизации микробиомом ЖКТ свидетельствует о более благоприятных условиях для их развития.

Таблица 2

Таксономический профиль ила, ЖКТ, ила + ЖКТ, определенный до уровня
рода, %

Род	Ил+ЖКТ	Ил	ЖКТ
1	2	3	4
Veillonella	1.35	4.47	1.69
Faecalibacterium	4.64	11.22	11.49
Prevotella	8.71	7.28	29.41
Blautia	1.74	0.28	5.41
Escherichia-Shigella	5.63	0.28	2.46
Proteus	1.70	2.15	0.64
Azotobacter	6.89	8.81	0.34
Staphylococcus	4.64	11.22	1.23
Lactobacillus	8.67	1.97	0
Bacteroides	3.87	0.56	3.72
Fusicatenibacter	0.39	1.97	0.34
Ruminococcus	2.32	1.12	2.36
Pseudobutyrvibrio	1.93	2.53	5.07
UCG-002	9.09	4.47	5.41
Subdoligranulum	0.77	0.56	2.03
Lactococcus	5.22	1.97	2.71
Sutterella	0.19	2.81	0.34
Paeniclostridium	0.19	1.12	1.69
[Eubacterium] hallii group	0.39	1.4	0.68
Clostridium sensu stricto 2	0.39	1.97	0
Gaiella	0	1.97	0
Acinetobacter	1.74	0.56	0.34
Phascolarctobacterium	0.19	2.25	0
Collinsella	0.97	0.56	2.71
Dialister	0.19	0.28	7.44
Intrasporangium	0	1.69	0
Streptococcus	5.20	1.00	3.04
Trichococcus	0.19	7.85	0.34
Bifidobacterium	0.77	2.52	0
Akkermansia	2.52	0.28	0
Eggerthella	0	2.25	0.68
[Eubacterium] eligens group	0.19	0	0.34
Macellibacteroides	0.58	4.47	0
Alistipes	0.77	0.56	1.69

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Paraprevotella	0.19	0	1.69
Klebsiella	0.19	0	0
Christensenellaceae R-7 group	5.22	2.8	1.0
Parabacteroides	1.93	0	0
Pseudarcobacter	0	0.56	0
CAG-873	3.29	0.28	0
Barnesiella	1.16	0	1.0
Parasutterella	0.19	0	0
Butyricicoccus	0.19	0	0
Rikenellaceae RC9 gut group	0.97	0	2.03
Fusobacterium	0	0.28	0
Pseudomonas	1.16	0.28	0
Megasphaera	0.97	0	0
Dietzia	0	0.28	0
Psychrobacter	0	0.56	0
Odoribacter	0.58	0	0.34
Butyricimonas	0.58	0	0
Acidaminococcus	0.19	0.56	0
Victivallis	1.16	0	0.34

Результаты исследования влияния процесса флокулообразования и ζ -потенциала на денитрификацию представлены в таблице 3. В первые 5 минут размер частиц увеличивался незначительно, величина ζ -потенциала также была невысокой. Это объясняется тем, что рост объема флокул происходит за счет аккумуляции примесей в результате флокуляционного потока, который связан с адгезионными силами. Затем наблюдается резкое укрупнение агрегатов конвективным путем, т. е. путем захвата встречного потока примесей. Через 1ч процесса флокуляции параметры глобул достигают своего наибольшего значения и далее происходит процесс дестабилизации. Коллоидные частицы начинают частично терять свою агрегативную устойчивость, но процесс денитрификации продолжается. К этому времени содержание нитратов в стоке уменьшилось в 4,4 раза и через 2 ч. составило 3,6 % от первоначально уровня. Полученные данные подтверждают утверждение других исследователей [4, 18] о влиянии размера флокул на активизацию процессов денитрификации.

Установить корреляцию между значением ζ -потенциала и процессом денитрификации не удалось. В нашем случае при максимальном значении ζ -потенциала процесс денитрификации продолжался и далее, содержание нитратов снижалось и при уменьшении величины ζ -потенциала.

Таблица 3

**Влияние размеров флокул и величины ζ -потенциала на процесс
денитрификации**

Показатели	Время флокуляции, мин						
	0	5	10	30	60	90	120
Размер флокул, мкм	5-10	60	115	150	240	240	234
ζ -потенциал клеток, мВ	-2,3	-13	-27	-51	-32	-25	-23
Нитраты, мг/дм ³	47,2	40,3	34,6	25,4	10,7	6,9	1,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного нами исследования установлено, что качественное изменение микробиоты активного ила за счет активизации его микробиомом ЖКТ животных влияет на эффективность денитрификации. Оптимизация микробного сообщества активного ила микробиомом ЖКТ животных позволила снизить содержание нитратов в сточной воде на 85,4 %.

Анализ данных секвенирования 16S рРНК бактерий показал количественные и качественные отличия в составе микробиомов ЖКТ свиньи, активного ила, «активного ила+ ЖКТ свиньи» на уровне типа бактерий. Количество Bacteroidetes увеличилось по сравнению с исходным активным илом в 1,7 раза, Verrucomicrobiota возросло в 18,5 раз, Firmicutes снизилось в 1,1 раза, Actinobacteria уменьшилось в 5,5 раза, подавлен рост Fusobacteriota и Campilobacterota.

Были выявлены различия в содержании бактерий на уровне класса-семейства-рода в пределах каждого типа в исходном активном иле и его модификации с микробиомом ЖКТ свиньи. Внесение микробиома ЖКТ позволило сформировать популяции микроорганизмов, способных конкурентно подавлять развитие нитчатых бактерий. Смена ценоза активного ила привела к формированию у его представителей ферментных систем, адаптированных к специфичным загрязнениям сточных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках реализации проекта «Оптимизация биоценоза активного ила городских очистных сооружений», № договора 20-34-90126\20.

Список литературы

1. Гришин Б. М. Удаление аммонийного азота из городских сточных вод с применением физико-химического и биологического методов / Б. М. Гришин, М. В. Бикунова, А. Н. Кошев, Ю. П. Перельгин // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – 2(43). – С. 134–141.
2. Смирнов В. Б. Гидробиологические аспекты процесса биологической очистки с нитрификацией и симультанной денитрификацией (БНЧСД) / В. Б. Смирнов, Н. П. Шевченко // СОК. – 2020. – №2. – С. 32–36.

3. Alaya S. B. Aeration management in an oxidation ditch / S. B. Alaya, L. Haouech, H. Cherif, H. Shayeb // *Desalination*. – 2010. – Vol. 252. – P. 172–178.
4. Pochana K. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND) / K. Pochana, J. Keller // *Water Science and Technology*. – 1999. – Vol. 39, No 6. – P. 61–68.
5. Chai H. Enhanced simultaneous nitrification and denitrification in treating low carbon-to-nitrogen ratio wastewater: Treatment performance and nitrogen removal pathway / H. Chai, Y. Xiang, R. Chen, Z. Shao, L. Gu, L. Li, Q. He // *Bioresource Technology*. – 2019. – Vol. 280. – P. 51–58.
6. Ito T. Diversity and abundance of denitrifying bacteria in a simultaneously nitrifying and denitrifying rotating biological contactor treating real wastewater at low temperatures / T. Ito, T. Aoi, N. Miyazato, M. Hatamoto, S. Fuchigami, T. Yamaguchi, H. Watanabe // *Open Journal*. – 2019. – Vol.2(1). – P. 58–70.
7. She Z. Salinity effect on simultaneous nitrification and denitrification, microbial characteristics in a hybrid sequencing batch biofilm reactor / Z. She, L. Wu, Q. Wang, M. Gao, C. Jin, Y. Zhao, L. Zhao, L. Guo // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. – 2018. – Vol. 41(1). – P. 65–75.
8. Yan L. Improved performance of simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in an oxygen-limited SBR by alternating the DO / L. Yan, S. Liu, Q. Liu, M. Zhang, Y. Liu, Y. Wen, Z. Chen, Y. Zhang, Q. Yang // *Bioresource Technology*. – 2019. – Vol. 275. – P. 153–162.
9. Basson B. Mucosal Interactions between Genetics, Diet, and Microbiome in Inflammatory Bowel Disease / A. Basson, A. Trotter, A. Rodriguez-Palacios, [et al.] // *Front Immunol*. – 2016. – Vol. 7 – P. 290.
10. Mahowald M. A. Characterizing a model human gut microbiota composed of members of its two dominant bacterial phyla / M. A. Mahowald, F. E. Rey, H. Seedorf // *Proc Natl Acad Sci U S A*. – 2009. – Vol. 106, No14. – P. 5859–5864.
11. Darrell W. Molecular details of a starch utilization pathway in the human gut symbiont *Eubacterium rectale* / W. Darrell, Cockburn, N. I. Orlovsky et al. // *Mol Microbiol*. – 2015. – Vol. 95, No 2. – P. 209–230.
12. Gibson M. K. Developmental dynamics of the preterm infant gut microbiota and antibiotic resistome / M. K. Gibson, B. Wang, S. Ahmadi et al. // *Nat Microbiol*. – 2016. – No 1. – P. 1–10.
13. Бухарин О. В. Ассоциативный симбиоз / О. В. Бухарин и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 264 с.
14. Бухарин О. В. Микросимбиоз / О. В. Бухарин, Н. Б. Перунова // Екатеринбург: УрО РАН. – 2014. – 260 с.
15. Wu G. D. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. / Wu G. D. et al. // *Science*. – 2011. – Vol. 334. – P. 105–108.
16. Pol A. Methanotrophy below pH 1 by a new *Verrucomicrobia* species / A. Pol, K. Heijmans, H. R. Harhangi, D. Tedesco, M. S. Jetten, J. M. Op Den Camp Huub. // *Nature*. – 2007. – Vol. 450. – P. 874–878.
17. Dunfield P. F. Methane oxidation by an extremely acidophilic bacterium of the phylum *Verrucomicrobia*. / P. F. Dunfield, A. Yuryev, P. Senin, A. V. Smirnova, M. B. Stott, S. Hou, B. Ly, J. H. Saw, Z. Zhou, Y. Ren, J. Wang, B. W. Mountain, M. A. Crowe, T. M. Weatherby, P. L. Bodelier, W. Liesack, L. Feng, L. Wang, M. Alam // *Nature*. – 2007. – Vol. 450, No7171. – P. 879–882.
18. Гульшин И. А. Одноиловая система низкокислородной технологии глубокой очистки сточных вод от соединений азота / И. А. Гульшин, Е. С. Гогина // *Водопользование*. – 2019. – № 4 (80). – С. 9–19.
19. Кольчурина Н. А. Денитрификация сточной воды / Н. А. Кольчурина, В. В. Солнцев, В. И. Шувалов, Е. А. Фарберова // *Вестник ПНИПУ*. – 2015. – №3. – С. 80–88.
20. G. W. Lu, P. Gao, Handbook of Non-Invasive Drug Delivery Systems: chapter 3 – Emulsions and Microemulsions for Topical and Transdermal Drug Delivery/Editor(s): V. S. Kulkarni. – William Andrew Publishing, 2010. – P. 59–94.
21. Roland L. Systematic characterization of oil-in-water emulsions for formulation design / I. Roland, G. Piel, L. Delattre, B. Evrard // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2003. – Vol.263, No(1-2). – P. 85–94.
22. Shannon C. E. The mathematical theory of communication / C. E. Shannon, W. Warren. – Urbana: the University of Illinois Press, 1949. – 117 p.
23. Шитиков В. К. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг // *Количественные методы экологии и гидробиологии: сборник научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова*. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 91–129.

24. Литусов Н. В. Кампилобактерии. Иллюстрированное учебное пособие / Н. В. Литусов. – Екатеринбург: Изд-во ГБОУ ВПО УГМА, 2012. – 18 с.
25. Tap J. Towards the human intestinal microbiota phylogenetic core / J. Tap, S. Mondot, F. Levenez et al. // *Environ Microbiol* – 2009. – Vol. 11. – P. 2574–2584.
26. Lagkouvardos I. Sequence and cultivation study of Muribaculaceae reveals novel species, host preference, and functional potential of this yet undescribed family / I. Lagkouvardos, T. R. Lesker, T. C. A. Hitch, E. J. C. Gálvez, N. Smit, K. Neuhaus, J. Wang, J. F. Baines, B. Abt, B. Stecher, J. Overmann, T. Strowig, T. Clavel // *Lagkouvardos et al. Microbiome*. – 2019. – Vol. 7 – P. 1–28.
27. Mahowald M. A. Characterizing a model human gut microbiota composed of members of its two dominant bacterial phyla / M. A. Mahowald, F. E. Rey, H. Seedorf, P. J. Turnbaugh, R. S. Fulton, A. Wollam, N. Shah, C. Wang, V. Magrini, R. K. Wilson // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2009. – No 106. – P. 5859–5864.
28. Jabari L. *Macellibacteroides fermentans* gen. nov., sp. nov., a member of the family Porphyromonadaceae isolated from an upflow anaerobic filter treating abattoir wastewaters / L. Jabari, H. Gannoun, J.-L. Cayol, A. Hedi, M. Sakamoto, E. Falsen, M. Ohkuma, M. Hamdi, G. Fauque, B. Ollivier, M.-L. Fardeau // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2012. – Vol. 62 (10). – P. 2522–2527.
29. Sun S-P. Effective Biological Nitrogen Removal Treatment Processes for Domestic Wastewaters with Low C/N Ratios: A Review / S-P Sun, C. P. Nacher, B. Merkey, Qi Zhou, S.-Q. Xia, D.-H. Yang, J.-H. Sun, B. F. Smets // *Environmental Engineering Science*. – 2010. – Vol. 27, No 2. – P. 111–126.
30. Hong K. H. Novel phased isolation ditch system for enhanced nutrient removal and its optimal operating strategy / K. H. Hong, D. Chang, J. M. Hur, S. B. Han // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2003. – Vol. 38, No 10. – P. 2179–2189.
31. Insel G. Effect of aeration on nutrient removal performance of oxidation ditch systems / G. Insel, N. Artan, D. Orhon // *Environmental engineering science*. – 2005. – Vol. 22 (6). – P. 802–815.
32. Jayasvasti M. Appropriate Lab Scale Oxidation Ditch Tank for Cafeteria Building Wastewater Treatment / M. Jayasvasti, C. Ratanatamskul // *International Journal of Advances in Agricultural and Environmental Engineering*. – 2014. – Vol. 1. – P. 127–130.
33. Stamou A. I. Modeling Oxidation Ditches Using the IAWPRC Activated Sludge Model with Hydrodynamic Effects / A. I. Stamou // *Water Science Technology*. – 1994. – Vol. 30, No 2. – P. 195–192.

INVESTIGATION OF THE MICROBIOME OF ACTIVATED SLUDGE AND OPTIMIZATION OF ITS METABOLIC ACTIVITY

Bryndina L. V., Korchagina A. Yu.

*Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia
E-mail: bryndinv@mail.ru*

The issue of reducing biogenic elements in wastewater remains relevant for all biological treatment methods. In addition, there is an environmental problem – pollution of natural reservoirs. Most of the research in the field of wastewater treatment by biological methods is aimed at improving the anaerobic and aerobic stages of the process. The process of "aerobic denitrification" is considered a promising direction in this area. The study of populations of activated sludge microorganisms involved in the processes of "aerobic denitrification" has not been sufficiently studied yet. Information about the microbiological component of sewage sludge is based in most cases on classical

microbiological methods of their identification and does not allow us to give a complete picture of the microorganisms inhabiting active sludge. To activate the work of microorganisms of active sludge is proposed by the microbiome of the gastrointestinal tract (gastrointestinal tract) of animals (pigs). This will create favorable conditions for the vital activity of the microflora of activated sludge, increase its enzymatic activity by reducing the concentration of pollutants entering the treatment, and allow antagonistically to displace filamentous bacteria. The objects of the study were activated sludge and wastewater from the left-bank municipal sewage treatment plants of Voronezh, pig intestines provided by Buturlinovskiy Meat Processing Plant. The α -diversity was determined by the Shannon index. Sequencing was performed on the IonTorrent PGM platform using reagents and systems Ion PGM Hi-Q View Sequencing Kit, Ion OneTouch 2 System, and Ion PGM Hi-Q View OT2 Kit (Thermo Fisher Scientific, USA). The ζ -potential was determined by the ability of bacterial cells to move in an electric field to one of the poles. The count of the number of bacterial cells was carried out in the Goryaev chamber under a microscope. Determination of the mass concentration of nitrate ion was carried out according to GOST 33045-2014. The size of the flocs was estimated by light scattering. The increase in biodiversity when 5 % of the gastrointestinal tract was added to the active sludge was 3.4 %. The largest proportion of microorganisms is represented by *Firmicutes*. The share of *Actinobacteria* decreased by 5.5 times. 42.5 % of them in the active sludge were represented by aerobic filamentous bacteria: *Gaiella*, *Intrasporangium*, *Dietzia*. The presence of these bacteria indicates the predisposition of the studied activated sludge to swelling. A sharp decrease in *Actinobacteria* after the addition of the gastrointestinal tract to the active sludge is most likely due to the fact that the microbiocenosis of the pig intestine antagonistically displaces representatives of this phylum. The microbiome of the pig's gastrointestinal tract, introduced into the native microflora of activated sludge, suppresses the growth of representatives of *Fusobacteriota* and *Campilobacterota*, thereby correcting the presence of filamentous forms of bacteria in the active sludge. The number of bacteria that are capable of fermenting not only carbohydrates, but also proteins has increased. The proportion of heterotrophic bacteria responsible for denitrification processes in activated sludge has increased. The proportion of *Lactococcus* increased 2.7 times, *Acinetobacter* – 3.1 times, *Pseudomonas* – 4.1 times, *Lactobacillus* – 4.4 times, *Streptococcus* – 5.2 times, *Escherichia/Shigella* – 20 times. Positive dynamics between the processes of flocculation and denitrification has been established. The greatest denitrification corresponded to the maximum size of the flocs. Flocs of 240nm in size reduced the nitrate content in the drain by 85.4 % after 1.5 hours. At the same time, no correlation has been established between the value of the ζ -potential and the efficiency of denitrification in wastewater. The experimental data obtained can be used to monitor nitrification/denitrification processes in wastewater and reduce the filamentous swelling of activated sludge.

Keywords: microbiome; activated sludge; wastewater; aerobic denitrification; anoxic zones; swelling of activated sludge.

References

1. Grishin B. M., Bikunova M. V., Koshev A. N., Perelygin Y. P. Udalenie ammonijnogo azota iz gorodskih stochnyh vod s primeneniem fiziko-himicheskogo i biologicheskogo metodov, *Regionalnaya arhitektura i stroitelstvo*, **2(43)**, 134 (2020).
2. Smirnov V. B., Shevchenko V. B. Hidrobiologicheskie aspekty processa biologicheskoy ochistki s nitrifikaciej i simul'tannoj denitrifikaciej (BNCHSD), *SOK*, **2**, 32(2020).
3. Alaya S. B., Haouech L., Cherif H., Shayeb H. Aeration management in an oxidation ditch, *Desalination*, **252**, 172(2010).
4. Pochana K., Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND), *Water Science and Technology*, **39(6)**, 61(1999).
5. Chai H., Xiang Y., Chen R., Shao Z., Gu L., Li L., He Q. Enhanced simultaneous nitrification and denitrification in treating low carbon-to-nitrogen ratio wastewater: Treatment performance and nitrogen removal pathway, *Bioresource Technology*, **280**, 51(2019).
6. Ito T., Aoi T., Miyazato N., Hatamoto M., Fuchigami S., Yamaguchi T., Watanabe H. Diversity and abundance of denitrifying bacteria in a simultaneously nitrifying and denitrifying rotating biological contactor treating real wastewater at low temperatures, *Open Journal*, **2**, 1, 55 (2019).
7. She Z., Wu L., Wang Q., Gao M., Jin C., Zhao Y., Zhao L., Guo L. Salinity effect on simultaneous nitrification and denitrification, microbial characteristics in a hybrid sequencing batch biofilm reactor, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, **41**, 1, 65(2018).
8. Yan L., Liu S., Liu Q., Zhang M., Liu Y., Wen Y., Chen Z., Zhang Y., Yang Q. Improved performance of simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in an oxygen-limited SBR by alternating the DO, *Bioresource Technology*, **275**, 153 (2019).
9. Basson B., Trotter A., Rodriguez-Palacios A. et al. Mucosal Interactions between Genetics, Diet, and Microbiome in Inflammatory Bowel Disease, *Front Immunol*, **7**, 290 (2016).
10. Mahowald M. A., Rey F. E., Seedorf H. Characterizing a model human gut microbiota composed of members of its two dominant bacterial phyla, *Proc Natl Acad Sci U S A*, **106**, 14, 5859 (2009).
11. Darrell W., Cockburn, Orlovsky N.I. et al. Molecular details of a starch utilization pathway in the human gut symbiont *Eubacterium rectale*, *Mol Microbiol*, **95**, 2, 209 (2015).
12. Gibson M. K., Wang B., Ahmadi S. et al. Developmental dynamics of the preterm infant gut microbiota and antibiotic resistome, *Nat Microbiol*, **1**, 1 (2016).
13. Buharin O. V. *Associativnyj simbioz*, p. 264 (Ekaterinburg: UrO RAN, 2007).
14. Buharin O. V., Perunova N. B. *Mikrosimbioz*, p. 260 (Ekaterinburg: UrO RAN, 2014).
15. Wu G. D. et al. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes, *Science*, **334**, 105 (2011).
16. Pol A., Heijmans K., Harhangi H. R., Tedesco D., Jetten M. S., Op Den Camp Huub J.M. Methanotrophy below pH 1 by a new Verrucomicrobia species, *Nature*, **450**, 874 (2007).
17. Dunfield P. F., Yuryev A., Senin P., Smirnova A. V., Stott M. B., Hou S., Ly B., Saw J. H., Zhou Z., Ren Y., Wang J., Mountain B. W., Crowe M. A., Weatherby T. M., Bodelier P. L., Liesack W., Feng L., Wang L., Alam M. Methane oxidation by an extremely acidophilic bacterium of the phylum Verrucomicrobia, *Nature*, **450**, 7171, 879 (2007).
18. Gulshin I. A., Gogina E. S. Odnoilovaya sistema nizkokislorodnoj tekhnologii glubokoj ochistki stochnyh vod ot soedinenij azota, *Vodopolzovanie*, **4** (80), 9 (2019).
19. Kolchurina N. A., Solncev V. V., Shuvalov V. I., Farberova E. A. Denitrifikaciya stochnoj vody, *Vestnik PNIPU*, **3**, 80 (2015).
20. Lu G. W., Gao P. *Handbook of Non-Invasive Drug Delivery Systems: chapter 3 - Emulsions and Microemulsions for Topical and Transdermal Drug Delivery*, p. 59 (William Andrew Publishing, 2010).
21. Roland L., Piel G., Delattre L., Evrard B. Systematic characterization of oil-in-water emulsions for formulation design, *International Journal of Pharmaceutics*, **263**(1-2), 85 (2003).
22. Shannon C. E., Warren W. *The mathematical theory of communication*, p. 117 (Urbana: the University of Illinois Press, 1949).
23. SHitikov V. K., Rozenberg G. S. Ocenka bioraznoobraziya: popytka formalnogo obobshcheniya, *Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii: sbornik nauchnyh trudov, posvyashchennyj pamyati A. I. Bakanova* (Tolyatti: SamNC RAN, 2005), p. 91.

24. Litusov N. V. *Kampilobakterii. Illyustrirovannoe uchebnoe posobie*, p. 18 (Ekaterinburg: Izd-vo GBOU VPO UGMA, 2012).
25. Tap J., Mondot S., Levenez F. et al. Towards the human intestinal microbiota phylogenetic core, *Environ Microbiol*, **11**, 2574 (2009).
26. Lagkouvardos I. I., Lesker T. R., Hitch T. C. A., Gálvez E. J. C., Smit N., Neuhaus K., Wang J., Baines J. F., Abt B., Stecher B., Overmann J., Strowig T., Clavel T. Sequence and cultivation study of Muribaculaceae reveals novel species, host preference, and functional potential of this yet undescribed family, *Microbiome*, **7**, 1 (2019).
27. Mahowald M. A., Rey F. E., Seedorf H., Turnbaugh P. J., Fulton R. S., Wollam A., Shah N., Wang C., Magrini V., Wilson R. K. Characterizing a model human gut microbiota composed of members of two dominant bacterial phyla, *Proc Natl Acad Sci USA*, **106**, 5859 (2009).
28. Jabari L., Gannoun H., Cayol J.-L., Hedi A., Sakamoto M., Falsen E., Ohkuma M., Hamdi M., Fauque G., Ollivier B., Fardeau M.-L. *Macellibacteroides fermentans* gen. nov., sp. nov., a member of the family Porphyromonadaceae isolated from an upflow anaerobic filter treating abattoir wastewaters, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, **62** (10), 2522 (2012).
29. Sun S.-P., Nacher C. P., Merkey B., Zhou Q., Xia S.-Q., Yang D.-H., Sun J.-H., Smets B. F. Effective Biological Nitrogen Removal Treatment Processes for Domestic Wastewaters with Low C/N Ratios: A Review, *Environmental Engineering Science*, **27**(2), 111 (2010).
30. Hong K. H., Chang D., Hur J. M., Han S. B. Novel phased isolation ditch system for enhanced nutrient removal and its optimal operating strategy, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, **38**(10), 2179 (2003).
31. Insel G., Artan N., Orhon D. Effect of aeration on nutrient removal performance of oxidation ditch systems, *Environmental engineering science*, **22** (6), 802 (2005).
32. Jayasvasti M., Ratanatamskul C. Appropriate Lab Scale Oxidation Ditch Tank for Cafeteria Building Wastewater Treatment, *International Journal of Advances in Agricultural and Environmental Engineering*, **1**, 127 (2014).
33. Stamou A. I. Modeling Oxidation Ditches Using the IAWPRC Activated Sludge Model with Hydrodynamic Effects, *Water Science Technology*, **30**(2), 195 (1994).

УДК 595.44 (477.75)

ПОПОЛНЕНИЕ СПИСКА ВИДОВ ПАУКОВ (ARACHNIDA, ARANEI) КАЗАНТИПСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА (КРЫМ)

Валюх И. Ф., Ковблюк Н. М.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: ivan.valukh1994.026@mail.ru*

В государственном природном заповеднике «Казантипский» впервые обнаружены 5 видов пауков: Cheiracanthiidae – *Cheiracanthium erraticum*; Linyphiidae – *Microneta viaria*, *Staveleya pusilla*; Theridiidae – *Anatolidion gentile*; Thomisidae – *Runcinia grammica*. С учётом наших предыдущих исследований, на территории заповедника теперь известно 143 вида пауков.

Ключевые слова: пауки, Aranei, степь, заповедник, список видов.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в государственном природном заповеднике «Казантипский» (далее в тексте – Казантипский природный заповедник) в результате наших предыдущих исследований обнаружено 138 видов пауков [1–3]. Инвентаризация видового состава пауков этого заповедника ещё не завершена. Реальное разнообразие пауков локальной фауны Казантипского заповедника составляет, по-видимому, не менее 150 видов. Для выявления дополнительных видов в 2019 и 2020 годах были предприняты новые экспедиционные исследования, результаты которых представлены ниже.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2019 и 2020 годах сбор материала на территории Казантипского природного заповедника проводился такими методами: ручным, кошением, энтомологическим ситом и эксгаустером. В 2019 году осуществлено 8 полевых выездов: 16–18 марта, 12–13 апреля, 4–5 и 9–12 мая, 14–17 июня, 17–21 октября, 2–4 и 22–24 ноября, в 2020 году – 2 полевых выезда: 28–29 марта и 24–25 мая.

На карте показаны места сбора, где были найдены дополнительные для заповедника виды пауков в 2019 и 2020 годах (рис. 1):

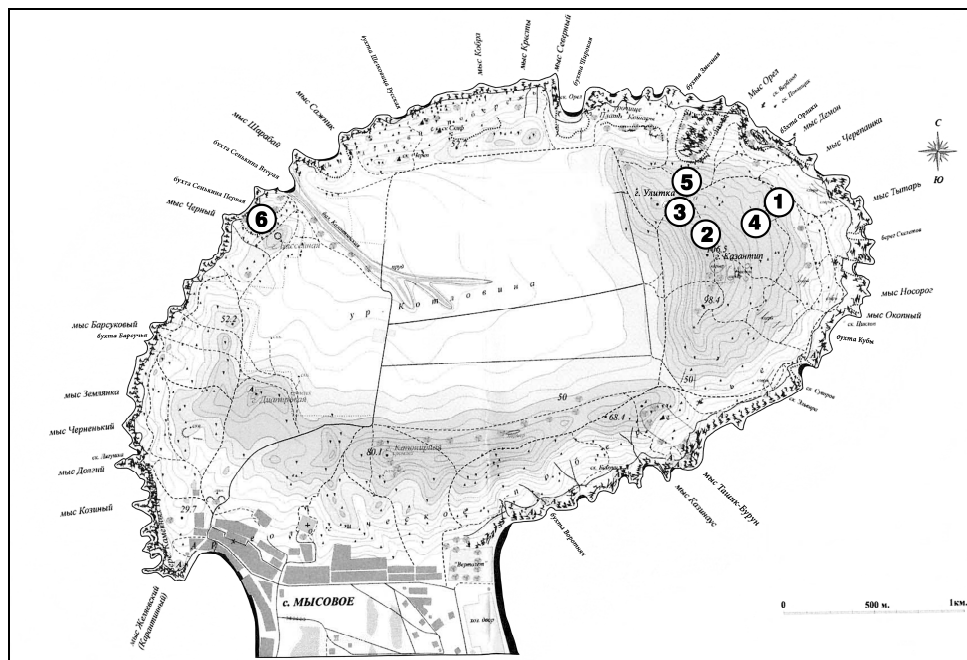


Рис. 1. Места сбора видов пауков, впервые отмеченных в Казантипском природном заповеднике.

Номера на карте (рис. 1) соответствуют номерам мест сбора в списке ниже:

1) 11.05.2019, восточная часть заповедника к юго-западу от мыса Черепашки, $45^{\circ}28'02.7''\text{N}$, $35^{\circ}52'02.2''\text{E}$, каменистая степь (рис. 2);



Рис. 2. Каменистая степь к юго-западу от мыса Черепашки.

2) 16.06.2019 г., восточная часть заповедника к юго-востоку от горы Улитки, $45^{\circ}28'05.2''\text{N}$, $35^{\circ}51'28.6''\text{E}$, степь (рис. 3);



Рис. 3. Степь к юго-востоку от горы Улитки.

3) 17.06.2019, восточная часть заповедника к юго-востоку от горы Улитки, $45^{\circ}28'00.8''\text{N}$, $35^{\circ}51'35.7''\text{E}$, степь (рис. 4);



Рис. 4. Местность к юго-востоку от горы Улитки.

4) 17.06.2019, восточная часть заповедника к юго-западу от мыса Черепашки, $45^{\circ}28'00.4''\text{N}$, $35^{\circ}52'03.0''\text{E}$, степь (рис. 5);



Рис. 5. Степь к юго-западу от мыса Черепашки.

5) 03.11.2019, северо-восточная часть заповедника к северо-востоку от горы Улитки, $45^{\circ}28'14.56''\text{N}$, $35^{\circ}51'22''\text{E}$, кустарниковая степь (рис. 6);



Рис. 6. Кустарниковая степь к северо-востоку от горы Улитки.

6) 24.05.2020, юго-западная часть заповедника к востоку от бухты Сенькиной Первой, $45^{\circ}27'57.22''\text{N}$, $35^{\circ}49'41.39''\text{E}$, каменистая степь (рис.7);



Рис. 7. Каменистая степь к востоку от бухты Сенькиной Первой.

Всего было собрано 35 проб (32 – в 2019 году и 3 – в 2020 году). Идентифицировано 116 половозрелых экземпляров пауков. Весь собранный материал хранится в Национальной арахнологической коллекции Таврического национального университета им. В. И. Вернадского (ныне – «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»).

Ниже представлен аннотированный список видов пауков, впервые обнаруженных на территории государственного природного заповедника «Казантипский» в 2019–2020 гг. В тексте использованы сокращения: л. Б. – ловушки Барбера, TNU – Национальная арахнологическая коллекция в Таврическом национальном университете им. В. И. Вернадского. Сборщик всего материала – И. Ф. Валюх.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Список видов пауков, впервые обнаруженных в Казантипском природном заповеднике в 2019-2020 годах

Семейство Cheiracanthiidae Wagner, 1887

Род *Cheiracanthium* C. L. Koch, 1839

1. *Cheiracanthium erraticum* (Walckenaer, 1802): 1 ♀ (TNU – V 128/3), место сбора №1, восточная часть заповедника к юго-западу от мыса Черепашки, 45°28'02.7"N, 35°52'02.2"E, каменистая степь, ручной сбор, 11.05.2019.

Семейство Linyphiidae

Род *Staveleya* Sherwood, 2021

2. *Staveleya pusilla* Sherwood, 2021: 1 ♂ (TNU – V 104/3), место сбора № 5, северо-восточная часть заповедника к северо-востоку от горы Улитки, 45°28'14.56"N, 35°51'22"E, кустарниковая степь, ситом, 03.11.2019.

Род *Microneta* Menge, 1869

3. *Microneta viaria* (Blackwall, 1841): 2 ♀♀ (TNU – V 108/6), место сбора №2, восточная часть заповедника к юго-востоку от горы Улитки, 45°28'05.2"N, 35°51'28.6"E, степь, ручной сбор, 16.06.2019; 1 ♀ (TNU – V 109/4), место сбора №3, восточная часть заповедника к юго-востоку от горы Улитки, 45°28'00.8"N, 35°51'35.7"E, степь, кошение, 17.06.2019.

Семейство Theridiidae

Род *Anatolidion* Wunderlich, 2008

4. *Anatolidion gentile* (Simon, 1881): 1 ♂ (TNU – V 136/1), место сбора № 6, юго-западная часть заповедника к востоку от бухты Сенькиной Первой, 45°27'57.22"N, 35°49'41.39"E, каменистая степь, ручной сбор, 24.05.2020.

Семейство Thomisidae

Род *Runcinia* Simon, 1875

5. *Runcinia grammica* (C. L. Koch, 1837): 1 ♀ (TNU – V 111/3), место сбора № 4, восточная часть заповедника к юго-западу от мыса Черепашки, 45°28'00.4"N, 35°52'03.0"E, степь, кошение, 17.06.2019.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаружено 5 видов пауков, ранее не зарегистрированных на территории Казантипского заповедника (*Cheiracanthium erraticum*, *Staveleya pusilla*, *Microneta viaria*, *Anatolidion gentile*, *Runcinia grammica*).
2. Список видов пауков Казантипского заповедника теперь составляет 143 идентифицированных вида.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность научному сотруднику Казантипского заповедника Н. А. Литвинюк за поддержку и организацию комфортных условий работы на территории заповедника.

Список литературы

1. Валюх И. Ф. Дополнение к списку видов пауков (Arachnida, Aranei) Казантипского природного заповедника (Крым) / И. Ф. Валюх, Н. М. Ковблюк // Экосистемы. – 2019. – Вып. 17. – С. 56–63.
2. Ковблюк Н. М. Первые данные о видовом составе пауков (Arachnida, Aranei) Казантипского природного заповедника (Крым) / Н. М. Ковблюк // Учёные записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2012. – Т. 25 (64), № 3. – С. 66–73.
3. Ковблюк Н. М. Новые данные о видовом составе пауков (Arachnida, Aranei) Казантипского природного заповедника (Крым) / Н. М. Ковблюк, А. А. Надольный, З. А. Кастрыгина, И. Ф. Валюх // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2015. – Т. 1 (67), № 2. – С. 36–46.

ADDITION TO THE SPIDER SPECIES LIST (ARACHNIDA, ARANEI) OF
KAZANTIP NATURE RESERVE (CRIMEA)

Valyukh I. F., Kovblyuk M. M.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: ivan.valukh1994.026@mail.ru

Five spider species are recorded from Kazantip Nature Reserve for the first time: Cheiracanthiidae – *Cheiracanthium erraticum*; Linyphiidae – *Microneta viaria*, *Staveleya pusilla*; Theridiidae – *Anatolidion gentile*; Thomisidae: – *Runcinia grammica*). So, the complete check-list of the fauna of reserve consists of 143 spider species (Agelenidae: *Agelena orientalis*, *Eratigena agrestis*, *Tegenaria lapicidinarum*; Amaurobiidae: *Amaurobius erberi*; Araneidae: *Aculepeira armida*, *Agalenatea redii*, *Araneus circe*, *Araneus diadematus*, *Argiope bruennichi*, *Argiope lobata*, *Gibbaranea bituberculata*, *Larinioides folium*, *Larinioides ixobolus*, *Mangora acalypha*, *Neoscona adianta*; Atypidae: *Atypus muralis*; Cheiracanthiidae: *Cheiracanthium elegans*, *Cheiracanthium erraticum*, *Cheiracanthium punctorium*; Dictynidae: *Archaeodictyna minutissima*, *Devade tenella*, *Lathys lehtineni*, *Lathys stigmatistata*; Dysderidae: *Dysdera crocata*, *Dysdera lata*, *Harpactea azowensis*, *Harpactea doblikae*, *Harpactea longobarda*, *Harpactea rubicunda*; Eresidae: *Eresus kollari*; Gnaphosidae: *Berlandina shumskyi*, *Civizelotes caucasicus*, *Civizelotes gracilis*, *Drassodes lapidosus*, *Drassyllus crimeaensis*, *Drassyllus praeficus*, *Gnaphosa moesta*, *Haplodrassus dalmatensis*, *Haplodrassus signifera*, *Leptopilos memorialis*, *Marinarozelotes malkini*, *Micaria albovittata*, *Micaria bosmansii*, *Micaria donensis*, *Nomisio aussereri*, *Nomisio exornata*, *Poecilochroa senilis*, *Talanites strandi*, *Zelotes electus*, *Zelotes eugenei*, *Zelotes hermani*, *Zelotes tenuis*; Linyphiidae: *Agyneta rurestris*, *Ceratinella brevis*, *Cresmatoneta mutinensis*, *Lepthyphantes leprosus*, *Maso gallicus*, *Megalephyphantes nebulosus*, *Microlinyphia pusilla*, *Microneta viaria*, *Sintula retroversus*, *Staveleya pusilla*, *Stemonyphantes lineatus*; Liocranidae: *Agroeca brunnea*, *Agroeca cuprea*, *Agroeca lusatica*; Lycosidae: *Alopecosa accentuata*, *Alopecosa pentheri* (this species identified earlier erroneously as *Alopecosa cursor*), *Alopecosa pulverulenta*, *Alopecosa solitaria*, *Alopecosa taeniopus*, *Arctosa leopardus*, *Geolycosa vultuosa*, *Hogna*

radiata, *Lycosa praegrandis*, *Pardosa luctinosa*, *Pardosa pontica*; Mimetidae: *Ero flammeola*, *Ero furcata*, *Mimetes laevigatus*; Oxyopidae: *Oxyopes heterophthalmus*; Philodromidae: *Pulchellodromus medius*, *Thanatus arenarius*, *Thanatus atratus*, *Thanatus imbecillus*, *Thanatus oblongiusculus*, *Thanatus pictus*, *Thanatus striatus*, *Thanatus vulgaris*; Pholcidae: *Pholcus crassipalpis*, *Spermophora senoculata*; Pisauridae: *Pisaura mirabilis*; Salticidae: *Aelurillus v-insignitus*, *Aelurillus laniger*, *Aelurillus m-nigrum*, *Ballus chalybeius*, *Chalcoscirtus infimus*, *Euophrys frontalis*, *Heliophanus cupreus*, *Heliophanus flavipes*, *Heliophanus kochii*, *Heliophanus lineiventris*, *Leptorchestes berlinensis*, *Neon rayi*, *Pellenes brevis*, *Pellenes nigrociliatus*, *Pellenes seriatus*, *Phlegra cinereofasciata*, *Phlegra fasciata*, *Pseudeuophrys obsoleta*, *Pseudicius encarpatus*, *Salticus zebraneus*, *Synageles scutiger*, *Talavera logunovi*; Scytodidae: *Scytodes thoracica*; Synsphyridae: *Synsphyris lehtineni*; Theridiidae: *Anatolidion gentile*, *Crustulina stricta*, *Enoplognatha thoracica*, *Episinus truncatus*, *Euryopsis quinqueguttata*, *Latrodectus tredecimguttatus*, *Parasteatoda tepidariorum*, *Steatoda paykulliana*, *Steatoda triangulosa*; Thomisidae: *Bassaniodes caperatus*, *Heriaeus oblongus*, *Heriaeus orientalis*, *Misumena vatia*, *Ozyptila atomaria*, *Ozyptila claveata*, *Ozyptila pullata*, *Ozyptila scabricula*, *Runcinia grammica*, *Thomisus onustus*, *Xysticus acerbus*, *Xysticus kochi*, *Xysticus laetus*, *Xysticus marmoratus*; Titanoecidae: *Nurscia albosignata*; Trachelidae: *Trachelas minor*; Zodariidae: *Zodarium morosum*; Zoridae: *Zora manicata*).

Keywords: spiders, Aranei, steppe, reserve, species list.

References

1. Kovblyuk M. M. The first data about species composition of spiders (Arachnida, Aranei) in Kazantip Nature Reserve (Crimea), *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University, Series: Biology, chemistry*, **25 (3)**, 66 (2012).
2. Kovblyuk M. M., Nadolny A. A., Kastygina Z. A., Valyukh I. F. The new data about species composition of spiders (Arachnida, Aranei) in Kazantip Nature Reserve (Crimea), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **1 (2)**, 36 (2015).
3. Valyukh I. F., Kovblyuk M. M. Addition to the list of spider species (Arachnida, Aranei) of Kazantip Nature Reserve (Crimea), *Ekosistemy*, **17**, 56 (2019).

УДК 57.034:574.24:57.04

СВЯЗЬ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ АКТИВНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ 6–20 МИН МЕЖДУ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ ТЕМЛОКРОВНЫХ ЖИВОТНЫХ

Диатроптов М. Е.^{1,2}

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

²*ФГБНУ Научно-исследовательский институт ревматологии им. В. А. Насоновой, Москва, Россия*

E-mail: diatrom@inbox.ru

Проведено исследование связанности изменений спектральной плотности мощности динамики внутрибрюшинной температуры тела между группой самцов лабораторных мышей и зеленушками (*Chloris chloris*). Коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности, рассчитанных для одновременных рядов данных статистически выше, чем при анализе смещенных по оси времени данных температуры тела мышей, относительно птиц. Также установлена связь моментов пробуждения и выхода из ночного убежища поползней (*Sitta europaea*) в естественных условиях с моментами максимальных приростов температуры тела у лабораторных мышей, находящихся в условиях постоянного искусственного освещения. Эти факты указывают на наличие внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на активность животных, принадлежащих к разным классам. Таким образом, величина ежеминутных приростов температуры тела по группе лабораторных мышей является маркером внешнего фактора среды, в том числе вызывающего пробуждение и начало активности птиц.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, синхронизаторы, гелиогеофизические факторы, млекопитающие, птицы.

ВВЕДЕНИЕ

Периодические изменения уровня активности присущи животным разных классов [1–5]. У грызунов наиболее четко прослеживаются 2–6 часовые ритмы активности на первый взгляд связанные с процессом поиска/переваривания пищи [6, 7]. При этом для более мелких животных и видов, использующих низкокалорийную пищу характерны более высокочастотные ритмы активности. Эти ритмы имеют адаптивное значение и существуют механизмы их генерации на уровне нервной системы организма [8, 9].

Ультрадианные ритмы температуры тела у грызунов в диапазоне периодов 2–6 часов отражают цикл активность/покой. Однако выраженная ритмичность изменения температуры тела наблюдается и в диапазоне 6–20 мин [10]. Эти ритмы характерны для представителей разных классов (птицы и млекопитающие) и одинаковы по периоду у видов, отличающихся уровнем обмена веществ [11]. Следовательно, либо эндогенная периодичность в этом диапазоне периодов была сформирована у общего предка и по какой-то причине не изменялась в процессе

дальнейшей эволюции, либо существует внешний фактор, определяющий данные колебания.

Факт связи геомагнитных параметров среды с активностью автономной нервной системы установлена несколькими коллективами авторов [12–14]. Основным оцениваемый параметр в данных работах это вариабельность сердечного ритма, отражающая активность симпатических и парасимпатических влияний на работу сердца. Ультранианная ритмика температуры тела также формируется за счет изменения баланса тонуса симпатической и парасимпатической автономной нервной системы [15]. Для экспериментальной работы ритмы температуры «теплового ядра» животного значительно более удобный для длительной регистрации параметр, чем вариабельность сердечного ритма.

Другой формой ритмической активности является цикл сон/бодрствование. Для птиц характерен однократный период сна в течение суток (монофазный), а для грызунов – полифазный. В период сна температура тела птицы составляет около 38 °С, а при пробуждении резко повышается до 41–42 °С, что позволяет регистрировать время пробуждения с точностью до 1 мин. Представляется интересным связан ли момент пробуждения птицы с периодами наибольших ежеминутных приращений температуры тела в группе мышей, отражающих преобладание в этот момент тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы. Факт связи этих процессов у животных, принадлежащим к разным классам и имеющих разные адаптационные стратегии, по нашему мнению, будет дополнительным фактом, указывающим на существование внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на активность живых организмов.

Цель – оценить взаимосвязанность ритмов активности между представителями разных классов теплокровных животных (птицы и млекопитающие).

С этой целью:

- 1) Проанализировать связанность изменений спектральной плотности мощности температуры тела у обыкновенных зеленушек (*Chloris chloris*) в условиях неволи и лабораторных мышей.
- 2) Оценить статистическую значимость совпадений между моментами пробуждения вольных поползней (*Sitta europaea*) с моментами наибольших ежеминутных приростов температуры тела в группе лабораторных мышей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты по сопоставлению спектров динамики температуры тела разных групп животных: Было проведено две серии исследования (Таблица). Сравниваемые между собой группы состояли из самцов лабораторных мышей линии C57Bl/6 и обыкновенных зеленушек (*Chloris chloris*). Птицы были отловлены за 1–2 мес до начала эксперимента. Все экспериментальные животные содержались в индивидуальных клетках при естественном освещении или искусственном постоянном освещении интенсивностью 700–800 лк и цветовой температурой 4200 К.

Таблица

Характеристика эксперимента по сопоставлению спектров мощности температуры тела между двумя экспериментальными группами животных

Период исслед.	Группа 1				Группа 2			
	Вид	n	Освещ.	Место	Вид	n	Освещ.	Место
26.03 – 07.04 2020	Мышь C57Bl/ 6	8	Естест.	Рязанск. обл.	<i>Chloris chloris</i>	4	Естест.	Москва
20.07 – 06.08 2021	Мышь C57Bl/ 6	9	Пост.	Рязанск. обл.	<i>Chloris chloris</i>	9	Естест.	Рязанск. обл.

Эксперименты по сопоставлению моментов пробуждения и начала активности птиц и динамики температуры тела мышей. Исследование динамики температуры тела у лабораторных мышей линии C57Bl/6 проводили в группе животных (n=12), живущих в индивидуальных пластиковых клетках (40x14,5x24 см). Доступ к воде и пище был свободным. Запаса воды и пищи хватало на 20 сут, что позволяло не тревожить животных. Животные содержались в условиях постоянного неяркого освещения, вызывающего преобладание ультрадианных ритмов активности, а циркадианный ритм снижает свою амплитуду и приобретает характер «свободнотекущего» с периодом около 25 часов.

Регистрацию моментов пробуждения и выхода из ночлежного дупла проводили у 8 самцов обыкновенного поползня (*Sitta europaea*), в Битцевском лесопарке г. Москвы, находящемся в 2 км от места содержания группы лабораторных мышей. Исследования проводили в ноябре-декабре 2021 г. Температуру воздуха в верхней части дупла, где ночует поползень, регистрировали датчиком ДТН4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск).

Во всех экспериментах температуру тела измеряли с частотой 1 раз в минуту при помощи имплантированных в брюшную полость датчиков ДТН4-28/TL4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск). Внутрибрюшинное внедрение датчиков проводили не позже, чем за 2 недели до проведения эксперимента, используя в качестве анестетика Золетил («Virbac Sante Animale», Франция), вводимого внутримышечно в дозе 5–7 мг/кг. Процедура эксперимента одобрена комиссией по биоэтике ИПЭЭ РАН протокол № 14 от 15.01.2018.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного пакета Statistica 7. Спектральный анализ проводили методом быстрого преобразования Фурье. С целью выявления синхронности изменения спектров температуры тела мышей и птиц рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена. Для оценки статистической значимости частоты совпадения моментов выходов из дупла птиц относительно максимальных приростов температуры тела мышей применяли z-тест для двух выборочных долей. Оценку статистической значимости различий между

показателями проводили непараметрическим методом Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что спектры динамики температуры тела у птиц и мелких млекопитающих имеют определенные сходные периоды [10, 11], можно заметить, что в разные дни наблюдается преобладание определенных гармоник. С целью проверки достоверности этого наблюдения мы рассчитывали коэффициент кросс-корреляции между спектрами мощности температуры тела в диапазоне 6–20 мин в группах самцов лабораторных мышей и обыкновенной зеленушки (*Chloris chloris*). В качестве исходного временного ряда использовали показатель ежеминутного изменения температуры тела, т.к. такой прием дифференцирования динамики температуры по времени приводит к нивелированию суточного тренда и увеличению выраженности ритмов высокочастотного диапазона. Фурье анализу подвергались медианные значения изменения температуры тела по группе животных. Индивидуальный анализ временных рядов более информативен, однако исходя из нашего предположения о наличии внешнего фактора, синхронизирующего данные ритмы, мы опирались на медианное значение по группе, отражающее суммарную коллективную реакцию животных на фактор/факторы среды. На рисунке 1 представлены коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности рассчитанных для каждых суток между группами животных. В период 26 марта – 13 апреля 2020 г. исследовалась динамика температуры тела у группы лабораторных мышей и обыкновенных зеленушек, находившихся при естественном освещении, но разнесенных на 240 км в юго-восточном. Медианное значение коэффициента кросс-корреляции составило 0,11 (0,08; 0,20), тогда как при расчете коэффициента корреляции между смещенными по времени на 1 сут показателями он составил 0,01 (-0,06; 0,11) (Рис.1, серия 1). Между показателями коэффициента кросс-корреляции спектров мощности температуры тела мышей и зеленушек, рассчитанных без смещения и со смещением по времени, установлено статистически значимое различие ($p=0,005$; $z=2,81$). Аналогичная закономерность наблюдалась в период 20 июля – 6 августа 2021г при сопоставлении спектров мощности температуры тела у мышей, находящихся в условиях постоянного неяркого освещения и зеленушек при естественном освещении (Рис. 1, серия 2). В этот временной период коэффициенты кросс-корреляции спектров мощности температуры тела мышей и зеленушек рассчитанных без смещения и со смещением по времени составили 0,13 (0,10; 0,24) и 0,08 (-0,06; 0,13) соответственно и имели статистическую значимость различий ($p=0,002$; $z=3,03$). В сумме за 37 дней эксперимента статистически значимых положительных коэффициентов корреляции между спектрами температуры тела мышей и зеленушек зарегистрировано 43 % (16 из 37), тогда как при расчете данного показателя со смещением по времени на 1 сут 20 % (15 из 74). Таким образом, связь между спектрами мощности температуры тела мышей и птиц более

значимая при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени.

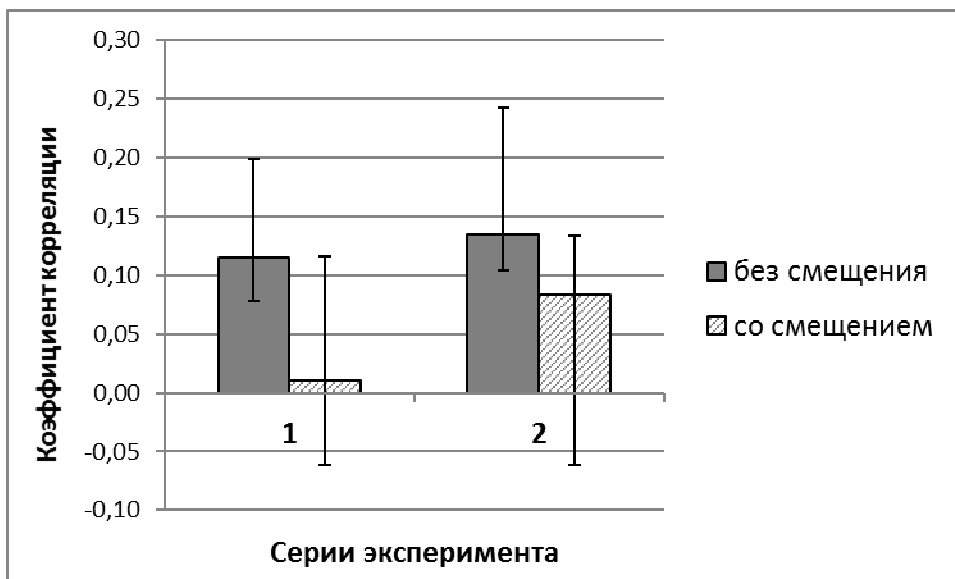


Рис. 1. Коэффициенты кросс-корреляции спектральной мощности температуры тела в диапазоне 6-20мин между двумя группами животных (Серия 1: мыши и зеленушки 26.03 – 7.04 2020; Серия 2: мыши и зеленушки 20.07 – 6. 08 2021), **ряд1: без смещения** – рассчитанных для одновременных событий и **ряд2: со смещением** – для рядов, сдвинутых относительно друг друга по времени на 1 сут.

На рисунке 2 представлены примеры динамики температуры воздуха в верхней части дупла. С точность до 1 мин можно зарегистрировать моменты резкого увеличения температуры воздуха, определяющегося пробуждением птицы и точку начала резкого снижения температуры воздуха, обусловленного покиданием птицей дупла. Моменты пробуждения достоверно регистрируются не всегда, в данном примере у птицы № 2 и № 4 нельзя выделить точной минуты резкого начала увеличения температуры от ночного уровня. В анализ были включены только четко регистрируемые моменты пробуждения (165 из 376 случаев). Выход же поползня из дупла зарегистрирован во всех 376 случаях. На рисунке 3 представлена динамика медианного значения величины ежеминутного изменения температуры тела по группе лабораторных мышей. Можно заметить преимущественное совпадение моментов пробуждения и выхода поползней из дупла с максимальными приращениями температуры тела лабораторных мышей.

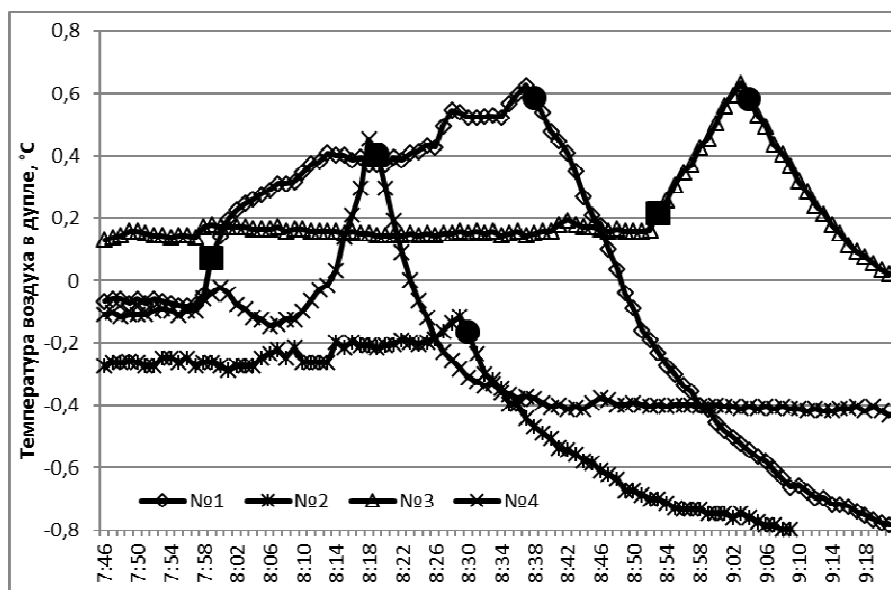


Рис. 2. Примеры динамики температуры воздуха в верхней части дупла, где ночует самец поползня. На рисунке приведены данные по 4 особям за 18. 12. 2021. Моменты пробуждения выделены крупным квадратом, а выхода из дупла – кругом.

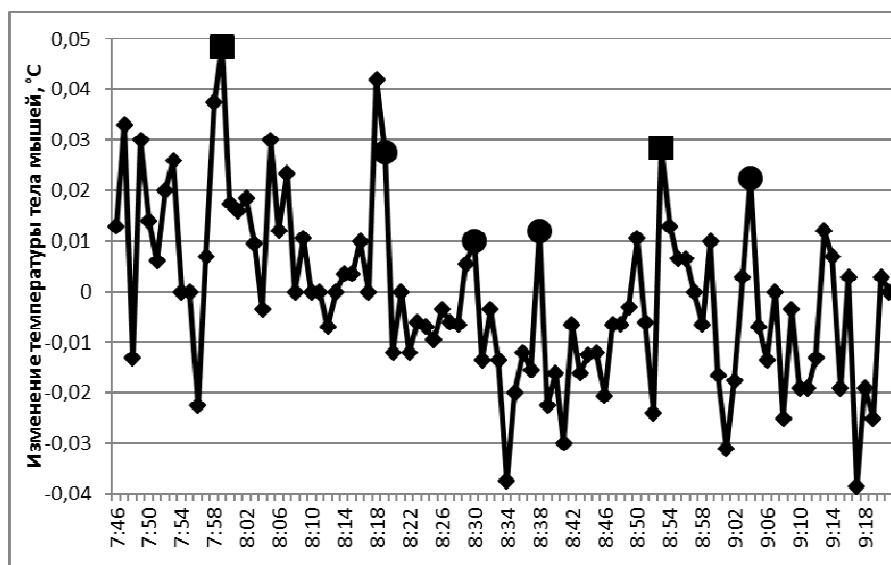


Рис. 3. Медианное значение величины ежеминутного изменения температуры тела в группе лабораторных мышей (n=13). Выделены точки, соответствующие у поползней моментам пробуждения (квадрат) и выхода из дупла (круг). Проиллюстрирован тот же временной период, что и на рис. 1.

Распределение методом наложенных эпох моментов выхода из дупла вольных поползней относительно экстремумов ежеминутного приращения температуры тела по группе лабораторных мышей представлено на рисунке 4. Максимальное число моментов пробуждения поползней (76 случаев) зарегистрировано в период максимальных показателей прироста температуры тела мышей, тогда как за 2–3 мин до и после этого момента только, в среднем, по 20 событий. По критерию для оценки двух выборочных долей вероятность случайного совпадения в данном случае составляет менее 0,001 %.



Рис. 4. Распределение методом наложенных эпох числа случаев утреннего выхода поползней из дупла относительно момента регистрации максимальных приростов температуры тела в группе лабораторных мышей (n=12).

По причине значительно меньшего числа случаев зарегистрированных пробуждений, чем выходов из дупла, с целью сопоставления данных с динамикой температуры тела мышей мы выполнили распределение методом наложенных эпох данных ежеминутного изменения температуры тела по группе мышей относительно моментов пробуждения поползней (Рис. 5). Оказалось, что в период пробуждения поползней наблюдаются наибольшие ежеминутные увеличения температуры тела мышей. Показатели изменения температуры тела в момент 0 статистически значимо различаются с таковыми за 2–3 мин до и после исследуемого события ($p < 0.0001$).

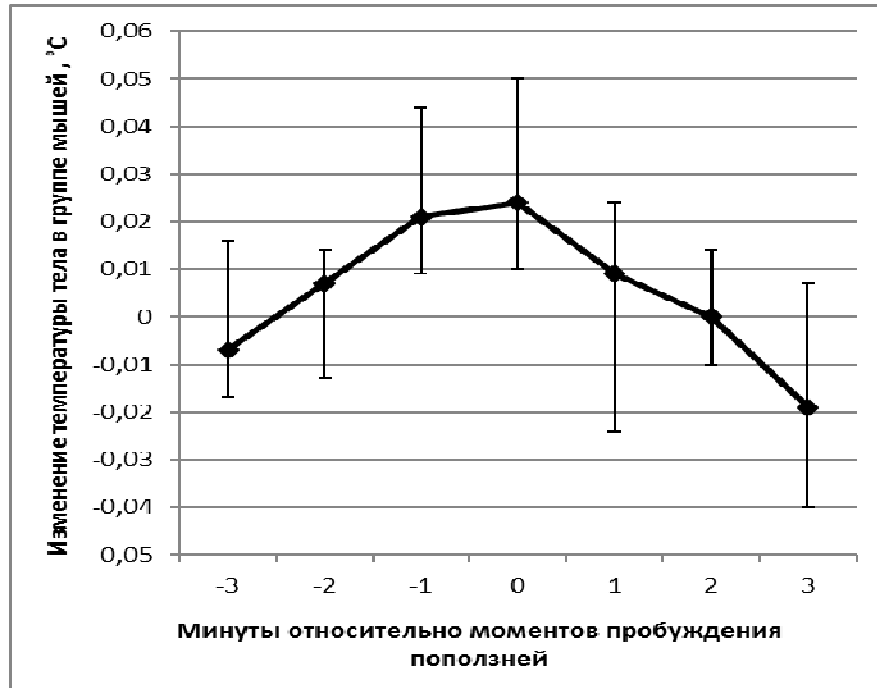


Рис. 5. Распределение методом наложенных эпох динамики ежеминутных изменений температуры тела лабораторных мышей (отклонение медианного значения по группе (n=12) от среднего уровня на анализируемом временном отрезке) относительно моментов пробуждения поползней, определяемых по резкому увеличению температуры воздуха в дупле относительно ночного уровня (n=165). Представлены медианы и интерквартильный размах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано что, связь между спектрами мощности температуры тела мышей и птиц более значимая при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени данных температуры тела птиц, относительно мышей. Этот факт указывает на одновременное изменение формы спектров мощности температуры тела птиц и млекопитающих. Учитывая принципиально разные стратегии адаптаций у исследованных видов животных и в том числе формы суточной активности, наличие синхронных изменений преобладающих периодов в динамике температуры тела указывает на существование внешнего квазиритмического фактора среды, определяющего эти колебания.

Моменты пробуждения и выхода поползней из ночного убежища наблюдаются преимущественно в период максимальных ежеминутных приращений температуры тела у лабораторных мышей. Следовательно, существует прямая связь между увеличением температуры тела у мышей, отражающим преобладание симпатических влияний в этот момент времени, и пробуждением птиц и их

принятием решения о выходе из дупла. Получается, что увеличение ежеминутных приростов температуры тела по группе лабораторных мышей является маркером внешнего фактора среды, вызывающего пробуждение и начало активности птиц.

Таким фактором могут являться квазиритмические колебания геомагнитного поля, что показано в ряде работ [16–21]. Однако нужно учитывать, что аналогичный спектр наблюдается в различных гелиогеофизических процессах [22]. Поэтому для установления природы этого фактора необходимы эксперименты по экранированию или искусственному воздействию предполагаемым физическим фактором. Метод регистрации динамики внутрибрюшной температуры тела у лабораторных животных является информативным, удобным и экономичным для такого рода исследований.

Список литературы

1. Кузнецов А. Е. Синхронизация биосинтетической активности микробных продуцентов ритмики космофизического происхождения / А. Е. Кузнецов // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 772–784.
2. Nepomnyashchikh V. A. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves) / V. A. Nepomnyashchikh, A. S. Orlov // Doklady Biological Sciences. – 2004. – Vol. 454, № 2. – P. 43–45.
3. Непомнящих В. А. Увеличение изменчивости поведения животных вследствие автокорреляций / В. А. Непомнящих // Журнал общей биологии. – 2012. – Т. 73, № 4. – С. 243–252.
4. Goh G. H. Episodic ultradian events-ultradian rhythms / G. H. Goh, S. K. Maloney, P. J. Mark, D. Blache // Biology (Basel). – 2019. – Vol. 8, № 1.
5. Diatropov M. E. The phenomenon of synchronous food intake in starlings (*Sturnus vulgaris*) under the conditions of isolation from each other / M. E. Diatropov, M. V. Rutovskaya, A. V. Surov // Doklady Biological Sciences. – 2020. – Vol. 492. – P. 99–102.
6. Ермаков Л. Н. Спектр ритмов активности, как показатель таксономических и экологических различий / Л. Н. Ермаков // Журнал общей биологии. – 1984. – Т. 45, № 2. – С. 301–306.
7. Ермаков Л. Н. Организация ритмов активности грызунов / Л. Н. Ермаков. – Новосибирск: Наука, 1984. – 180 с.
8. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin, M. V. Kokoeva, A. Gratton, B. Giros, K.-F. Storch // Elife. – 2014. – Vol. 3.
9. Bourguignon C. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock / C. Bourguignon, K. F. Storch // Frontiers in Neurology. – 2017. – V. 8. – P. 614.
10. Diatropov M. E. Body temperature dynamics in small mammals and birds in 10–120-min Period Range / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2020. – V. 169. – P. 765–770.
11. Diatropov M. E. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga, A. V. Surov // Doklady Biological Sciences. – 2020. – Vol. 494. – P. 228–231.
12. Cornelissen G. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction / G. Cornelissen, F. Halberg, T. K. Breus, E. V. Syutkina, R. M. Baevskii, A. Weydahl, Y. Watanabe, K. Otsuka, J. Siegelova, B. Fiser, E. E. Bakken // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2002. – Vol. 64. – P. 707–728.
13. Alabdulgade A. Human heart rhythm sensitivity to earth local magnetic field fluctuations / A. Alabdulgade, R. Macraty, M. Atkinson, A. Vainoras, K. Berškieñė, V. Mauricienė, Z. Navickas, R. Šmidtaitė, M. Landauskas, A. Daunoravičienė // Journal of Vibroengineering. – 2015. – Vol. 17, № 6. – P. 3271–3278.
14. Зенченко Т. А. Соотношение динамики минутных колебаний пульса и биохимических показателей крови здоровых лиц с геомагнитными пульсациями Pc5-6 / Т. А. Зенченко,

- A. A. Медведева, Н. Н. Потоплицина, О. И. Паршукова, Е. Р. Бойко // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 2. – С. 385–394.
15. Bräulke L. J. Torpor and ultradian rhythms require an intact signalling of the sympathetic nervous system / L. J. Bräulke, G. Heldmaier // Cryobiology. – 2010. – Vol. 60, № 2. – P. 198–203.
 16. Бреус Т. К. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы / Т. К. Бреус, В. Н. Бинги, А. А. Петрукович // Успехи физических наук. – 2016. – Т. 186, № 5. – С. 568–576.
 17. Saroka K. S. Similar spectral power densities within the Schumann resonance and a large population of quantitative electroencephalographic profiles: supportive evidence for Koenig and Pobachenko / K. S. Saroka, D. E. Vares, M. A. Persinger // PLoS One. – 2016. 11:e0146595.
 18. Timofejeva I. Identification of a group's physiological synchronization with Earth's magnetic field / I. Timofejeva, R. McCraty, M. Atkinson, R. Joffe, A. Vainoras, A. Alabdulgader, M. Ragulskis // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, № 9. – P. 998.
 19. Григорьев П. Е. Вариации индексов космической погоды и инфраничные ритмы физиологических процессов у животных / П. Е. Григорьев, В. С. Мартынюк // Ученые записки Таврического национального университета им В.И. Вернадского. Серия «Биология» – 2003. – Т. 16 (55), № 4. – С. 43–49.
 20. Martynyuk V. S. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals / V. S. Martynyuk, N. A. Temuryants // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2010. – Vol. 46, № 7. – P. 820–829.
 21. McCraty R. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects / R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, A. A. Alabdulgader, A. Vainoras, M. Ragulskis // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 770.
 22. Panchelyuga V. A. Local fractal analysis of noise-like time series by the all-permutations method for 1–115 min periods / V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga // Biophysics. – 2015. – Vol. 60, № 2. – P. 317–330.

RELATIONSHIP OF ULTRADIAN RHYTHMS OF ACTIVITY IN THE RANGE OF 6–20 MIN BETWEEN REPRESENTATIVES OF DIFFERENT CLASSES OF TEMPERATURE ANIMALS

Diatroptov M. E.^{1,2}

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

²*V. A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russian Federation*
E-mail: diatrom@inbox.ru

The interrelation of the rhythms of activity between representatives of different classes of warm-blooded animals (birds and mammals) was investigated. We analyzed the relationship of changes in the spectral power density of body temperature in common greenfinches (*Chloris chloris*) in captivity and laboratory mice. The statistical significance of the coincidences between the moments of awakening and the onset of activity of free nuthatches (*Sitta europaea*) with the moments of the greatest every minute increase in body temperature in a group of laboratory mice was evaluated.

In all experiments, body temperature was measured at a frequency of 1 time per minute using DTN4-28 / TL4-28 sensors implanted into the abdominal cavity (EMBI

RESERCH LLC, Novosibirsk). Intraperitoneal insertion of sensors was carried out no later than 2 weeks before the experiment, using Zoletil (Virbac Sante Animale, France) as an anesthetic, administered intramuscularly at a dose of 5–7 mg/kg. Air temperatures in the upper part of the hollow were recorded with a similar sensor.

With an accuracy of up to 1 min, it is possible to register the moments of a sharp increase in air temperature, which is determined by the awakening of the bird, and the point of the beginning of a sharp decrease in air temperature, due to the bird leaving the hollow. The moments of awakening are not always reliably recorded. The analysis included only clearly recorded moments of awakening (165 out of 376 cases). The nuthatch emerged from the hollow tree in all 376 cases. One can notice the predominant coincidence of the moments of awakening and emergence of nuthatches from the hollow with the maximum increments in body temperature of laboratory mice.

The distribution by the method of superimposed epochs of the moments of emergence from the hollow of free nuthatches relative to the extrema of the every minute increment of body temperature in a group of laboratory mice was carried out. The maximum number of moments of nuthatch awakening (76 cases) was recorded during the period of maximum growth in body temperature in mice, while 2–3 minutes before and after this moment only, on average, 20 events each. According to the criterion for evaluating two sample fractions, the probability of an accidental coincidence in this case is less than 0.001 %.

We performed the distribution by the method of superimposed epochs of the data of every minute changes in body temperature over a group of mice relative to the moments of awakening of nuthatches. It turned out that during the period of awakening of nuthatches, the greatest every minute increases in body temperature of mice are observed. Indicators of changes in body temperature at time 0 are statistically significantly different from those for 2–3 minutes before and after the event under study ($p < 0.0001$).

The work shows that the relationship between the power spectra of the body temperature of mice and birds is more significant when calculating the simultaneous data series than with a time shift of the data on the body temperature of birds relative to mice. This fact indicates a simultaneous change in the shape of the power spectra of body temperature in birds and mammals. Considering the fundamentally different adaptation strategies in the studied animal species, including the forms of daily activity, the presence of synchronous changes in the prevailing periods in the dynamics of body temperature indicates the existence of an external quasi-rhythmic environmental factor that determines these fluctuations.

The moments of awakening and emergence of nuthatches from the nocturnal shelter are observed mainly during the period of maximum every minute increments in body temperature in laboratory mice. Consequently, there is a direct relationship between an increase in body temperature in mice, reflecting the predominance of sympathetic influences at this point in time, and the awakening of birds and their decision to leave the hollow. It turns out that an increase in every minute increase in body temperature in a group of laboratory mice is a marker of an external environmental factor that causes the awakening and the beginning of bird activity.

Such a factor may be quasi-rhythmic oscillations of the geomagnetic field, as shown in a number of works [16–21]. However, it should be taken into account that a similar spectrum is observed in various heliogeophysical processes [22]. Therefore, to establish the nature of this factor, experiments on shielding or artificial action by the putative physical factor are necessary. The method of recording the dynamics of intra-abdominal body temperature in laboratory animals is informative, convenient and economical for this kind of research.

Keywords: ultradian rhythms, synchronizers, heliogeophysical factors, mammals, birds.

References

1. Kuznetsov A. E. Synchronization of biosynthetic activity of microbial producers of rhythmic of cosmophysical origin. *Biophysics*, **37**(4), 772 (1992).
2. Nepomnyashchikh V. A., Opaev A. S. Correlations in the rhythmic organization of singing in the great reed warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves). *Doklady Biological Sciences*, **454**(2), 43 (2014).
3. Nepomnyashchikh V. A. An increase in animal behavior variability due to autocorrelation. *Journal of General Biology*, **73**(4), 243 (2012).
4. Goh G. H., Maloney S. K., Mark P. J., Blache D. Episodic ultradian events-ultradian rhythms. *Biology (Basel)*, **8**(1), (2019).
5. Diatropov M. E., Rutovskaya M. V., Surov A. V. The phenomenon of synchronous food intake in starlings (*Sturnus vulgaris*) under the conditions of isolation from each other. *Doklady Biological Sciences*, **492**, 99 (2020).
6. Erdakov L. N. The spectrum of activity rhythms as an indicator of taxonomic and ecological differences. *Journal of General Biology*, **45**(2), 301 (1984).
7. Erdakov L.N. *Organization of the rhythms of rodent activity* (Nauka, Novosibirsk, 1984) 180 pp.
8. Blum I.D., Zhu L., Moquin L., Zhu L., Moquin L., Kokoeva M.V., Gratton A., Giros B, Storch K.-F. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3**, (2014).
9. Bourguignon C., Storch K.F. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock. *Frontiers in Neurology*, **8**, 614 (2017).
10. Diatropov M. E., Panchelyuga V.A., Panchelyuga M.S. Body temperature dynamics in small mammals and birds in 10-120-min period range. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **169**, 765 (2020).
11. Diatropov M. E., Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S., Surov A. V. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels. *Doklady Biological Sciences*, **494**, 228 (2020).
12. Cornelissen G., Halberg F., Breus T. K., Syutkina E. V., Baevskii R. M., Weydahl A., Watanabe Y., Otsuka K., Siegelova J., Fiser B., Bakken E. E. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **64**, 707 (2002).
13. Alabdulgade A., Maccraty R., Atkinson M., Vainoras A., Berškienė K., Mauricienė V., Navickas Z., Šmidtaitė R., Landauskas M., Daunoravičienė A. Human heart rhythm sensitivity to earth local magnetic field fluctuations. *Journal of Vibroengineering*, **17**(6), 3271 (2015).
14. Zenchenko T. A., Medvedeva A. A., Potolitsina N. N., Parshukova O. I., Boiko E. R. Correlation of the dynamics of minute-scale heart rate oscillations and biochemical parameters of the blood in healthy subjects to Pc5–6 geomagnetic pulsations. *Biophysics*, **60**(2), 309 (2015).
15. Bräulke L. J., Heldmaier G. Torpor and ultradian rhythms require an intact signalling of the sympathetic nervous system. *Cryobiology*, **60**(2), 309 (2010).
16. Breus T. K., Binh V. N., Petrukovich A. A., Magnetic factor of the solar terrestrial relations and its impact on the human body: physical problems and prospects for research. *Physics-Uspeski*, **186**(5), 502 (2016).

17. Saroka K. S., Vares D. E., Persinger M. A. Similar spectral power densities within the Schumann resonance and a large population of quantitative electroencephalographic profiles: supportive evidence for Koenig and Pobachenko. *PLoS One*, 11:e0146595 (2016).
18. Timofejeva I., McCraty R., Atkinson M., Joffe R., Vainoras A., Alabdulgader A., Ragulskis M. Identification of a group's physiological synchronization with Earth's magnetic field. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(9), 998 (2017).
19. Grigoriev P. E., Martynyuk V. S. Variations in space weather indices and infrared rhythms of physiological processes in animals. *Scientific notes of the V. I. Vernadsky. Series "Biology"* **16-55**(4), 43 (2003).
20. Martynyuk V. S., Temuryants N. A. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **46**(7), 820 (2010).
21. McCraty R., Atkinson M., Stolc V., Alabdulgader A. A., Vainoras A., Ragulskis M. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(7), 770 (2017).
22. Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S. Local fractal analysis of noise-like time series by the all-permutations method for 1–115 min periods. *Biophysics*, **60**(2), 317 (2015).

УДК 57.034

ФЕНОМЕН КРАТНОСТИ 12 СУТКАМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РЕПРОДУКТИВНОГО ПЕРИОДА У НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ВОРОБЬИНЫХ ПТИЦ

Диатромтов М. Е.^{1,2}

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

²ФГБНУ Научно-исследовательский институт ревматологии им. В. А. Насоновой, Москва, Россия

E-mail: diatrom@inbox.ru

Проведено исследование продолжительности репродуктивного периода самок обыкновенного скворца *Sturnus vulgaris*, большой синицы *Parus major* и полевого воробья *Passer montanus*, отловленных в период насиживания яиц первой кладки. Показано, что у скворца период от начала синтеза яиц до начала линьки стабилен и равен 47–48 сут. У больших синиц он дискретен и составляет 47–48, 60 и 72–73 сут, а у полевых воробьев – 60–61, 72–74, 85–86, 96–97 и 108 сут. Таким образом, у трех исследованных видов птиц, отличающихся количеством циклов размножения, выявлена кратность продолжительности репродуктивного периода 12-ти суткам. Предполагается, что это связано с механизмом отсчета организмом временных отрезков порядка 1–3 месяцев, а возможно и около годового эндогенного цикла.

Ключевые слова: инфрадианный ритм, репродуктивный период, воробьиные птицы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что время начала линьки у большинства воробьиных птиц определяется еще весной, при достижении птицей готовности к размножению [1]. Временной интервал от готовности к размножению до начала линьки называют репродуктивным периодом. Для самок оседлых видов, в том числе обыкновенного поползня (*Sitta Europaea*), начало синтеза яиц является тем моментом, от которого начинается свободный отсчет времени до начала линьки [2]. Следовательно, именно период начала синтеза яиц, когда у самки наблюдается возрастание уровня метаболизма, необходимого для продукции яйца, и увеличение до максимальных в году концентраций половых гормонов, является основной точкой синхронизации ее эндогенного годового цикла. Нужно отметить, что эндогенный около годовой цикл, наблюдаемый в лабораторных условиях при постоянном фотопериоде и температуре среды, наблюдается не только у птиц, но и у зимоспящих млекопитающих [3–5]. Наличие внутренней системы отчета временных интервалов обеспечивает организму заблаговременную подготовку организма к изменяющимся условиям среды. Это утверждение справедливо как для циркадианных ритмов, генетические механизмы которых хорошо изучены [6, 7], так и для многосуточных ритмов, принцип функционирования которых не ясен.

Гормоны щитовидной железы играют важную роль в механизме координации окончания размножения и начала линьки. Удаление щитовидной железы приводит к пролонгации репродуктивного периода у скворцов [8], и напротив, введение больших доз тироксина вызывает преждевременное прекращение размножения и начало послебрачной линьки у зябликов [9].

Ранее нами была выявлена связь начала роста новых первостепенных маховых перьев с 3-суточным ритмом концентрации в крови тироксина [10]. Помимо этого биоритма известен 4-суточный инфрадианный ритм концентрации глюкокортикоидных гормонов [11–13]. В динамике пролиферативной активности эпителия пищевода у млекопитающих и птиц, помимо около 4-суточного, нами был выявлен 12-суточный ритм [14]. Повышенный уровень глюкокортикоидных гормонов может препятствовать началу линьки [15, 16], а инициацию роста пера, являющегося производным эпителия, может определять инфрадианный ритм пролиферативной активности эпителия. Предполагая, что на время начала линьки влияет фаза этих биоритмов, мы провели исследование по сопоставлению дат начала линьки у воробьиных птиц с фазой инфрадианных биоритмов. Связь времени начала линьки с определенной фазой 4- и 12-суточного, предположительно экзогенного, ритма отсутствовала.

В природных условиях было установлено, что продолжительность периода от момента откладки первого яйца до начала линьки у разных особей больших синиц различается на величину кратную 12-и суткам и составляет в 43–44, 56, 68–69 и 81 сут [17]. Этот факт, на наш взгляд, крайне интересен: его нельзя объяснить какими либо аналогичными ритмами жизнедеятельности этого вида птиц. Создается впечатление, что гормональные механизмы окончания репродуктивного периода и начала линьки срабатывают только каждые 12-е сутки. В природных условиях могут быть неучтенные сдерживающие начало линьки факторы, связанные с насиживанием и интенсивным выкармливанием птенцов. В лабораторных условиях, где эти условия нивелируются, такого исследования не проводилось, тогда как, выявление факта дискретного характера продолжительности репродуктивного периода у птиц является ценным в плане дальнейшего выявления механизма отсчета биологическими объектами временных отрезков порядка 1-3 месяцев. По предположению А. М. Оловникова [18] отсчет биологического времени организмами осуществляется не суточными интервалами, а около двухнедельными отрезками времени.

В качестве объектов исследования целесообразно было выбрать виды оседлых воробьиных птиц, различающихся числом кладок (большая синица – 1 или 2 кладки, и полевой воробей – 2 или 3 кладки) и ближнего мигранта (обыкновенный скворец – 1 кладка). У дальних мигрантов эндогенный годовой цикл очень стабилен и его синхронизация, возможно, не связана с моментом началом синтеза яиц.

Цель – выявление в лабораторных условиях закономерностей продолжительности репродуктивного периода у нескольких видов воробьиных птиц, различающихся числом кладок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования провели на самках большой синицы *Parus major* (n=17), обыкновенного скворца *Sturnus vulgaris* (n=11) и полевого воробья *Passer montanus* (n=17). Птицы были пойманы на гнездах в период насиживания яиц первой кладки. Отловленные птицы содержались в индивидуальных клетках размером 30х40х30 см при естественном освещении. Большие синицы получали мучного червя, скворцы – сырой корм «Whiskas», полевые воробьи – зерновую смесь «РИО» для амадин. При работе с экспериментальными животными руководствовались Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей (Страсбург, 1986 г.). Процедура эксперимента одобрена комиссией по биоэтике ИПЭЭ РАН № 14 от 15.01.2018.

Возраст больших синиц и полевых воробьев не выявляли. Экспериментальная группа самок скворцов состояла из особей в возрасте более 1 года, что определяли по длине иризирующего участка пера на горле [19].

Моментом начала линьки считали день появления пигментированного зачатка 10-го первостепенного махового пера (нумерация с дистального конца крыла). Выпадение старого пера наблюдается через три дня после появления пигментированного зачатка, когда длина трубочки нового пера составит ½ от глубины перьевой сумки. Следовательно, представленные в статье моменты начала линьки на три дня опережают даты общепринятого определения начала линьки по выпадению 10-го первостепенного махового пера.

Оценку статистической значимости выявленной дискретности репродуктивного периода, кратной 12 суткам, проводили по z-тесту для оценки двух выборочных долей (SigmaStat). Различия считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность временного интервала от снесения первого яйца до начала линьки у самок больших синиц составила: 43, 43, 43, 44, 44, 44, 44, 44, 49, 56, 56, 56, 57, 62, 68, 69 и 69 суток (Табл. 1). В величине исследуемых временных интервалов наблюдаются группировки с медианами в 43–44 суток, 56 суток, 68–69 суток, т.е. дискретность с периодом 12 сут. Исключением из этого правила являются две птицы № 4 и № 11. Оценка доли вероятности случайности такого кратного 12-и распределения продолжительности репродуктивного периода составляет $p=0.015$ ($z=2.45$).

У 10 из 11 самок скворцов, продолжительность периода от откладки первого до начала линьки составила 42–44 сут, а у одной 32 сут, что на 11–12 суток короче основного периода – 43–44 сут (Табл. 2).

Таблица 1

Сроки начала гнездования и линьки самок большой синицы в 2019 г

№	Дата снесения первого яйца	Кол-во яиц в кладке, шт	Дата отлова	Дата начала линьки	Продолжительность временного интервала от снесения первого яйца до начала линьки, сут
1	21 апреля	11	6 мая	28 июня	68
2	21 апреля	10	6 мая	29 июня	69
3	21 апреля	8	6 мая	3 июня	43
4	22 апреля	8	6 мая	10 июня	49
5	24 апреля	9	6 мая	6 июня	43
6	25 апреля	8	6 мая	8 июня	44
7	25 апреля	8	6 мая	8 июня	44
8	25 апреля	8	6 мая	8 июня	44
9	26 апреля	7	6 мая	9 июня	44
10	22 апреля	14	10 мая	17 июня	56
11	22 апреля	11	10 мая	23 июня	62
12	24 апреля	14	10 мая	2 июля	69
13	25 апреля	14	10 мая	21 июня	57
14	25 апреля	12	10 мая	20 июня	56
15	25 апреля	12	10 мая	20 июня	56
16	27 апреля	8	10 мая	10 июня	44
17	28 апреля	8	10 мая	10 июня	43

Таблица 2

Сроки начала гнездования и линьки самок обыкновенного скворца в 2019 г

№	Дата снесения первого яйца	Кол-во яиц в кладке, шт	Дата отлова	Дата начала линьки	Продолжительность временного интервала от снесения первого яйца до начала линьки, сут
1	17 апр.	5	2 мая	30 мая	43
2	17 апр.	6	2 мая	31 мая	44
3	19 апр.	5	2 мая	2 июня	44
4	20 апр.	5	2 мая	2 июня	43
5	24 апр.	6	4 мая	5 июня	42
6	24 апр.	6	4 мая	6 июня	43
7	25 апр.	5	4 мая	27 мая	32
8	25 апр.	6	4 мая	6 июня	42
9	26 апр.	5	4 мая	8 июня	43
10	27 апр.	4	4 мая	10 июня	44
11	29 апр.	4	4 мая	11 июня	43

Продолжительность временного интервала от даты откладки первого яйца первой кладки до начала линьки у самок полевого воробья также составила дискретный временной ряд: 56–57, 68–70, 81–82, 92–93 и 104 сут (Табл. 3). Все эти длины периодов также отличаются между собой на 11–12 суток. В природе большинство особей полевых воробьев имеют 3 цикла размножения. Таким образом, у полевых воробьев как в естественных условиях, так и в эксперименте, выявляется самый длинный репродуктивный период.

Таблица 3
Сроки начала гнездования и линьки самок полевого воробья в 2015–2021 гг

№	Дата снесения первого яйца	Год	Дата отлова	Дата начала линьки	Продолжительность временного интервала от снесения первого яйца до начала линьки, сут
1	21 апреля	2015	30 апр.	29 июля	69
2	26 апреля	2015	10 июня	8 августа	104
3	28 апреля	2015	11 мая	6 июля	69
4	30 апреля	2015	10 июня	9 июля	70
5	25 апреля	2019	10 мая	15 июля	81
6	25 апреля	2019	10 мая	16 июля	82
7	25 апреля	2019	10 мая	26 июля	92
8	27 апреля	2019	10 мая	17 июля	81
9	28 апреля	2019	10 мая	5 июля	68
10	28 апреля	2019	10 мая	18 июля	81
11	29 апреля	2019	10 мая	7 июля	69
12	5 мая	2021	18 мая	24 июля	80
13	5 мая	2021	18 мая	6 августа	93
14	6 мая	2021	18 мая	14 июля	69
15	8 мая	2021	22 мая	3 июля	56
16	8 мая	2021	22 мая	4 июля	57
17	8 мая	2021	22 мая	19 июля	72

На рисунке 1 представлено распределение величины продолжительности временного периода от откладки первого яйца до начала линьки у самок обыкновенного скворца, больших синиц и полевых воробьев. Обращает на себя внимание, что наблюдаются группировки в области 43–44, 56–57, 68–69 и 81 суток, что различается между собой на 12 суток.

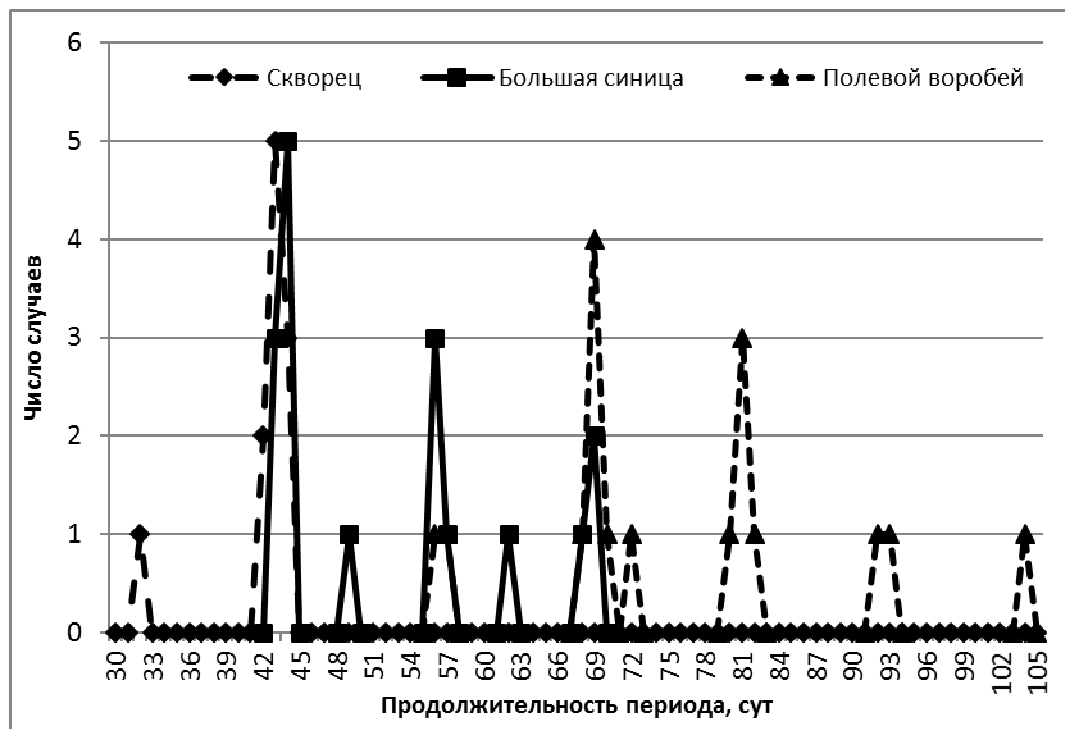


Рис. 1. Продолжительность временного периода от откладки первого яйца до начала линьки у самок воробьиных птиц, отловленных в период насиживания яиц первой кладки и содержавшихся в индивидуальных клетках при естественном освещении.

С целью наглядного представления кратности продолжительности репродуктивного периода 12 суткам мы распределили все полученные значения продолжительности временного периода от откладки первого яйца до начала линьки по дням 12-суточного периода (Рис. 2). Выявлено статистически значимое различие доли случаев, приходящихся на 8-й день произвольно выбранного 12-суточного периода по сравнению со средним уровнем ($z=3.125$; $p=0.002$).

Представленные в настоящей работе исследования проводились при погодных условиях благоприятных для синтеза яиц. При нормальных погодных условиях у мелких воробьиных птиц период от начала синтеза яиц до снесения первого яйца составляет 4 суток [20]. Таким образом, у больших синиц продолжительность временного интервала от начала синтеза яиц до начала линьки составляет 47–48, 60 и 72–73 суток, скворцов – 47–48 суток и полевых воробьев – 60–61, 72–74, 85–86, 96–97 и 108 суток. При анализе полученных данных у этих трех видов выявляется закономерность: продолжительности репродуктивного периода кратны 12-ти суткам. У скворцов этот период стабилен и равен 47–48 сут, у больших синиц и полевых воробьев он дискретен, но отдельные его значения совпадают у разных

видов: 47–48 суток у скворцов и больших синиц, 60–61 и 72–74 сут у больших синиц и полевых воробьев.



Рис. 2. Распределение всех полученных в эксперименте у скворцов, больших синиц и полевых воробьев продолжительностей временного периода от откладки первого яйца до начала линьки по дням 12-суточного периода.

Нужно отметить, что дискретный характер репродуктивного периода можно было бы попытаться объяснить несколькими циклами размножения. Однако, продолжительность интервала между первой и второй кладкой у больших синиц и полевых воробьев разная (около 44 и 38 сут соответственно), тем не менее, у обоих видов птиц дискретность репродуктивного периода имеет 12-суточную периодичность.

Факт кратности репродуктивного периода 12 суткам указывает на то, что в основе системы временного отсчета этого периода лежит 12-суточный ритм. Ритм с таким периодом выявлен нами ранее в пролиферативной активности эпителия пищевода у японского перепела и самцов крыс Вистар [14]. Важно отметить, что фаза этого биоритма совпадает между группами исследуемых млекопитающих и птиц, эволюционно разошедшихся между собой около 310 млн лет назад [21]. Этот факт, по нашему мнению, указывает на существование внешних синхронизаторов этого биоритма. Выявление внешнего фактора синхронизации инфранианых биоритмов перспективно не только в области регуляции гормональных циклов и коррекции ряда патологических состояний, но и в управлении биологическим временем.

Установленная в настоящей статье 12-суточная ритмичность не связана с определенными календарными датами и не синхронна между разными особями, а

отсчитывается от индивидуального для каждой птицы момента начала синтеза яиц. Иными словами, каждые 12-е сутки от момента начала синтеза яиц у самок повышается вероятность начала линьки. У видов птиц, которым характерен одним цикл размножения, продолжительность репродуктивного периода в лабораторных условиях наиболее короткая и сроки начала линьки наиболее стабильны. Для видов с двумя и тремя циклами размножения характерна растянутость временных сроков начала линьки, но при этом наблюдается четкая закономерность кратности продолжительности репродуктивного периода 12-ти суткам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье данные указывают на способность птиц отсчитывать двух–трех месячные периоды с точностью до 1–2 суток. Продолжительность репродуктивного периода птиц можно рассматривать как модель для исследования механизмов отсчета временных интервалов порядка 30–100 сут. Наиболее удобным в этом плане являются самки скворца в возрасте старше 1 года, репродуктивный период у которых очень стабилен и равен 47–48 сут. Необходимо отметить, что наблюдаются единичные исключения из этого правила, следовательно, используя модель отсчета времени, основанную на определении длины репродуктивного цикла птиц, необходимо проводить наблюдения за группой особей. Также нужно помнить, что неблагоприятные погодные условия в период синтеза яиц могут затянуть откладку первого яйца и, следовательно, сократить временной интервал от откладки первого яйца до начала линьки, который при синтезе яиц в нормальных погодных условиях у скворцов составляет 43–44 сут.

Список литературы

1. Носков Г. А. Регуляция параметров годового цикла и ее роль в микроэволюционном процессе у птиц / Г. А. Носков, Т. А. Рымкевич // Успехи современной биологии. – 2010. – Т. 130, № 4. – С. 346–359.
2. Диатроптов Е. В. Связь сроков начала послебрачной линьки с основными этапами размножения у поползня *Sitta europaea* / Е. В. Диатроптов, М. Е. Диатроптов // Русский орнитологический журнал. – 2016. – Т. 25, № 1344. – С. 3663–3672.
3. Davis D. E. Hibernation and circannual rhythms of food consumption in marmots and ground squirrels / D. E. Davis // The Quarterly Review of Biology. – 1976. – Vol. 51, № 4. – P. 477–514.
4. Ward J. M. Jr. Circannual rhythms of food consumption, body mass, and metabolism in yellow-bellied marmots / J. M. Jr. Ward, K. B. Armitage // Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Physiology. – 1981. – Vol. 69, № 4. – P. 621–626.
5. Gwinner E. Circannual rhythms in birds / E. Gwinner // Current Opinion in Neurobiology. – 2003. – Vol. 13, Issue 6. – P. 770–777.
6. Dunlap J. C. Molecular bases for circadian clocks / J. C. Dunlap // Cell. – 1999. – Vol. 96. – P. 271–290.
7. Kondratov R. V. Circadian proteins in the regulation of cell cycle and genotoxic stress responses / R. V. Kondratov, M. P. Antoch // TRENDS in Cell Biology. – 2007. – V. 17, N 7. – P. 311–316.
8. Wieselthier A. S. The effect of thyroidectomy on testicular size and on the photorefractory period in the starling (*Sturnus vulgaris* L.) / A. S. Wieselthier, A. Van Tienhoven // Journal of Experimental Zoology. – 1972. – Vol. 179. – P. 331–338.
9. Дольник В. Р. Популяционная экология зяблика / В. Р. Дольник, Н. В. Виноградова, В. М. Гаврилов, Т. А. Ильина, Д. С. Люлеева – Л.: Наука, 1982. – 301 с.

10. Диатроптов М. Е. Инфрадианный ритм изменения уровня тироксина и связанная с ним периодичность смены пера во время линьки у воробьиных птиц / М. Е. Диатроптов // Журнал общей биологии. – 2013. – Т. 74, № 5. – С. 379–385.
11. Диатроптов М. Е. Инфрадианные ритмы митотической активности эпителия пищевода и уровня кортикостерона и тироксина у японских перепелов (*Coturnix japonica*) / М. Е. Диатроптов // Цитология. – 2013. – Т. 55, № 5. – С. 333–337.
12. Jozsa R. Circadian and extracircadian exploration during daytime hours of circulating corticosterone and other endocrine chronomes / R. Jozsa, A. Olah, G. Cornélissen, V. Csernus, K. Otsuka, M. Zeman, G. Nagy, J. Kaszaki, K. Stebelova, N. Csokas, W. Pan, M. Herold, E. E. Bakken, F. Halberg // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. – 2005. – Vol. 59. – P. 109–116.
13. Maschke C. Chronoeoepidemiology of “strain”: infradian chronomics of urinary cortisol and catecholamines during nightly exposure to noise / C. Maschke, J. Harder, G. Cornélissen, K. Hecht, K. Otsuka, F. Halberg // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. – 2003. – Vol. 57. – P. 126–135.
14. Диатроптов М. Е. Закономерности инфрадианных биоритмов митотической активности эпителия пищевода у японских перепелов (*Coturnix japonica*) и крыс Вистар / М. Е. Диатроптов, О. В. Макарова, М. А. Диатроптова // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13, № 4. – С. 82–96.
15. Péczely P. Role of gonadal and adrenal steroids and thyroid hormones in the regulation of molting in domestic goose / P. Péczely, F. Bogenfürst, M. Kulcsár, B. Polgár // *Acta biologica Hungarica*. – 2011. – Vol. 62, № 1. – P. 1–21.
16. Romero L. M. Corticosterone inhibits feather growth: potential mechanism explaining seasonal down regulation of corticosterone during molt / L. M. Romero, D. Storchlic, J. C. Wingfield // *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. – 2005. – Vol. 142, № 1. – P. 65–73.
17. Диатроптов М. Е. Влияние сроков начальных стадий размножения на время начала послебрачной линьки у большой синицы *Parus major* / М. Е. Диатроптов // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26, № 1416. – С. 967–973.
18. Оловников А. М. Редусомная гипотеза старения и контроля биологического времени в индивидуальном развитии / А. М. Оловников // Биохимия. – 2003. – Т. 68, вып. 1. – С. 7–41.
19. Нумеров А. Д. Полевые исследования наземных позвоночных: учебное пособие / А. Д. Нумеров, А. С. Климов, Е. И. Труфанова – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2010. – 301 с.
20. Дольник В. Р. Ресурсы энергии и времени у птиц в природе / В. Р. Дольник – СПб: Наука, 1995. – 360 с.
21. Kumar S. A molecular timescale for vertebrate evolution / S. Kumar, S. B. Hedges // *Nature*. – 1998. – Vol. 392, № 6679. – P. 917–920.

PHENOMENON OF 12 DAYS MULTIPLICITY OF REPRODUCTIVE PERIOD DURATION IN SEVERAL SPECIES OF PASSERINE BIRDS

Diatroptov M. E.^{1,2}

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

²*V. A. Nasonova Research Institute of Rheumatology, Moscow, Russian Federation*
E-mail: diatrom@inbox.ru

It is known that the time of the onset of molting in most passerine birds is determined as early as in spring, when the bird reaches breeding readiness [1]. The time interval from readiness for breeding to the start of molting is called the reproductive period. For female passerine birds, the beginning of egg synthesis is the moment from which the free

countdown to the start of molting begins [2]. Consequently, it is the period of the beginning of egg synthesis, when the female has an increase in the level of metabolism necessary for egg production, and an increase in the concentrations of sex hormones to the maximum in a year, which is the main point of synchronization of her endogenous annual cycle. It should be noted that the endogenous near-annual cycle, observed under laboratory conditions at a constant photoperiod and environmental temperature, is observed not only in birds, but also in hibernating mammals [3–5]. The presence of an internal system for reporting time intervals provides the body with advance preparation of the body for changing environmental conditions. This statement is true both for circadian rhythms, the genetic mechanisms of which are well studied [6, 7], and for multi-day rhythms, the functioning principle of which is not clear.

Under natural conditions, it was found that the duration of the period from the moment of laying the first egg to the beginning of molting in different individuals of great tits differs by a multiple of 12 days and is 43–44, 56, 68–69, and 81 days [17]. This fact, in our opinion, is extremely interesting: it cannot be explained by any similar rhythms of the life activity of this bird species. It seems that the hormonal mechanisms of the end of the reproductive period and the beginning of molting work only every 12 days. Under natural conditions, there may be unaccounted factors that hinder the onset of molting associated with incubation and intensive feeding of chicks. In laboratory conditions, where these conditions are leveled, such a study has not been carried out, while revealing the fact of the discrete nature of the duration of the reproductive period in birds is valuable in terms of further identifying the mechanism for counting time intervals of the order of 1–3 months by biological objects. According to A.M. Olovnikov [18], biological time is counted by organisms not by daily intervals, but by about two-week time intervals.

As objects of study, it was advisable to choose species of sedentary passerine birds that differ in the number of clutches (great tit – 1 or 2 clutches, and tree sparrow – 2 or 3 clutches) and a nearby migrant (common starling – 1 clutch).

The goal is to identify patterns in the duration of the reproductive period in several species of passerine birds, differing in the number of clutches, under laboratory conditions.

The duration of the time interval from the laying of the first egg to the start of molting in female great tits was: 43, 43, 43, 44, 44, 44, 44, 44, 49, 56, 56, 56, 57, 62, 68, 69 and 69 days (Table 1). Groupings with medians of 43–44 days, 56 days, and 68–69 days are observed in the magnitude of the studied time intervals, i.e. discreteness with a period of 12 days. Estimation of the share of chance of such a multiple of 12 distribution of the duration of the reproductive period is $p=0.015$ ($z=2.45$). In 10 out of 11 female starlings, the duration of the period from the laying of the first to the beginning of the molt was 42–44 days, and in one, 32 days, which is 11–12 days shorter than the main period, 43–44 days. The duration of the time interval from the date of laying the first egg of the first clutch to the beginning of molting in females of the tree sparrow also amounted to a discrete time series: 56–57, 68–70, 81–82, 92–93, and 104 days. All these period lengths also differ from each other by 11–12 days. In nature, most individuals of field sparrows have 3 breeding cycles. Thus, field sparrows, both in natural conditions and in the experiment, have the longest reproductive period.

The studies presented in this paper were carried out under weather conditions favorable for egg synthesis. Under normal weather conditions, in small passerine birds, the period from the beginning of egg synthesis to the laying of the first egg is 4 days [20]. Thus, in great tits, the duration of the time interval from the beginning of egg synthesis to the beginning of molting is 47–48, 60, and 72–73 days, in starlings, 47–48 days, and in sparrows, 60–61, 72–74, 85–86, 96–97 and 108 days. When analyzing the data obtained in these three species, a regularity is revealed: the duration of the reproductive period is a multiple of 12 days. In starlings, this period is stable and equals 47–48 days; in great tits and field sparrows it is discrete, but its individual values coincide in different species: 47–48 days for starlings and great tits, 60–61 and 72–74 days for great tits and field sparrows.

It should be noted that the discrete nature of the reproductive period could be explained by several cycles of reproduction. However, the duration of the interval between the first and second clutches in great tits and tree sparrows is different (about 44 and 38 days, respectively), nevertheless, in both species of birds, the discreteness of the reproductive period has a 12-day periodicity.

The fact that the reproductive period is 12 days indicates that the system of time reference of this period is based on a 12-day rhythm. We have previously identified such a rhythm with such a period in the proliferative activity of the esophageal epithelium in Japanese quail and male Wistar rats [14]. It is important to note that the phase of this biorhythm coincides between the groups of studied mammals and birds that evolved apart about 310 million years ago [21]. This fact, in our opinion, indicates the existence of external synchronizers of this biorhythm. Identification of the external factor of synchronization of infradian biorhythms is promising not only in the field of regulation of hormonal cycles and correction of a number of pathological conditions, but also in the management of biological time.

The data presented in the article indicate the ability of birds to count two to three monthly periods with an accuracy of 1–2 days. The duration of the reproductive period of birds can be considered as a model for studying the mechanisms for counting time intervals of the order of 30–100 days. The most convenient in this regard are female starlings over the age of 1 year, whose reproductive period is very stable and equal to 47–48 days. It should be noted that there are single exceptions to this rule, therefore, using a time reference model based on determining the length of the reproductive cycle of birds, it is necessary to conduct observations over a group of individuals. It should also be remembered that unfavorable weather conditions during the period of egg synthesis can delay the laying of the first egg and, therefore, reduce the time interval from the laying of the first egg to the onset of molting, which is 43–44 days during egg synthesis under normal weather conditions in starlings.

Keywords: infradian rhythm, reproductive period, passerine birds.

References

1. Noskov G. A., Rymkevitch T. A. Regulation of annual cycle parameters and its role in microevolutionary process in birds. *Uspekhi Sovremennoj Biologii*. **130(4)**, 346 (2010). (In Russian)

2. Diatropov E. V., Diatropov M. E. Connection between dates of the onset of post-nuptial moulting and main stages of reproduction in nuthatch *Sitta europaea*. *Russian Ornithology Journal*. **25(1344)**, 3663 (2016) (In Russian)
3. Davis D. E. Hibernation and circannual rhythms of food consumption in marmots and ground squirrels. *The Quarterly Review of Biology*. **51(4)**, 477 (1976).
4. Ward J. M. Jr., Armitage K. B. Circannual rhythms of food consumption, body mass, and metabolism in yellow-bellied marmots. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Physiology*. **69(4)**, 621 (1981).
5. Gwinner E. Circannual rhythms in birds. *Current Opinion in Neurobiology*. **13(6)**, 770 (2003).
6. Dunlap J. C. Molecular bases for circadian clocks. *Cell*. **96**, 271 (1999).
7. Kondratov R. V., Antoch M. P. Circadian proteins in the regulation of cell cycle and genotoxic stress responses. *TRENDS in Cell Biology*. **17(7)**, 311 (2007).
8. Wieselthier A. S., Van Tienhoven A. The effect of thyroidectomy on testicular size and on the photorefractory period in the starling (*Sturnus vulgaris* L.). *Journal of Experimental Zoology*. **179**, 331 (1972).
9. Dolnik V. R., Vinogradova N. V., Gavrilov V. M., Ilyina T. A., Lyuleeva D. S. *Population ecology of the finch* (L.: Nauka, 1982) 301 pp. (In Russian)
10. Diatropov M. E. The infradian rhythm in changes of thyroxine level and related periodicity of feather replacement during the molting in passerine birds. *Zhurnal obshchei biologii*. **74(5)**, 379 (2013).
11. Diatropov M. E. Infradian rhythms of mitotic activity in cells of esophagus epithelium, and levels of corticosterone and thyroxine in Japanese quails (*Coturnix japonica*), *Cytology*. **55(5)**, 333 (2013).
12. Jozsa R., Olah A., Cornélissen G. Csernus V., Otsuka K., Zeman M., Nagy G., Kaszaki J., Stebelova K., Csokas N., Pan W., Herold M., Bakken E. E., Halberg F. Circadian and extracircadian exploration during daytime hours of circulating corticosterone and other endocrine chronomes. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. **59**, 109 (2005).
13. Maschke C., Harder J., Cornélissen G. Hecht K., Otsuka K., Halberg F. Chronoecoepidemiology of "strain": infradian chronomics of urinary cortisol and catecholamines during nightly exposure to noise. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. **57**, 126 (2003).
14. Diatropov M. E., Makarova O. V., Diatroptova M. A. Patterns of infradian biorhythms of mitotic activity of esophageal epithelium in Japanese quails (*Coturnix japonica*) and Wistar rats. *Geophysical processes and biosphere*. **13(4)**, 82 (2014). (In Russian)
15. Péczely P., Bogenfürst F., Kulcsár M., Polgár B. Role of gonadal and adrenal steroids and thyroid hormones in the regulation of molting in domestic goose. *Acta biologica Hungarica*. **62(1)**, 1 (2011).
16. Romero L. M., Strohlic D., Wingfield J. C. Corticosterone inhibits feather growth: potential mechanism explaining seasonal down regulation of corticosterone during molt. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. **142(1)**, 65 (2005).
17. Diatropov M. E. Influence of dates of initial stages of reproduction on the onset of post-nuptial moulting in great tit. *Russian Ornithology Journal*. **26(1416)**, 967 (2017). (In Russian)
18. Olovnikov A. M. Redusomic theory of aging and control of biological time in individual development. *Biochemistry*. **68(1)**, 7 (2003). (In Russian)
19. Numerov A. D., Klimov A. C., Trufanova E. I. *Field studies of terrestrial animals: tutorial* (Voronez, IPTs VGU, 2010) 301 pp. (In Russian)
20. Dolnik V. R. *Resources of energy and time in birds in nature* (St. Petersburg. Nauka, 1995) 360 pp. (In Russian)
21. Kumar S., Hedges S. B. A molecular timescale for vertebrate evolution. *Nature*. **392(6679)**, 917 (1998).

УДК 57.034; 577.3; 591.1

О ВЗАИМОСВЯЗАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ДВУХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДРУГ ОТ ДРУГА ГРУПП МЫШЕЙ

Диатроптов М. Е.^{1,2}, Арсеньев Г. Н.³, Шатеева В. С.⁴, Лигун Н. В.³, Дорохов В. Б.³

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

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

³*ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия*

⁴*ФГБОУ ВО Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия*

E-mail: diatrom@inbox.ru

Проведено исследование динамики температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей, находящихся в условиях постоянного освещения. Для диапазона периодов 6–20 и 100–260 мин показано, что изменение спектров колебаний температуры тела у мышей исследуемых групп наблюдается преимущественно одновременно. Показано, что в период возмущений геомагнитного поля Земли и отрицательных значений вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля наблюдается отсутствие достоверной корреляции между спектрами изменения температуры тела двух исследуемых групп животных. Также у изолированных друг от друга мышей установлена фазовая взаимосвязь ритмов активность/покой. По-видимому, это связано с синхронизирующим действием на ритмику температуры тела и активность мышей, изолированных от световых ориентиров смены дня и ночи, пока не выявлено внешнего фактора среды.

Ключевые слова: ультрадианные ритмы, цикл активность/покой, синхронизаторы, геомагнитное поле, мыши.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании динамики различных форм активности животных и человека выявляется целый спектр ритмов с периодом от миллисекунд до нескольких суток [1–6]. Считается, что ультрадианные ритмы (период < 23ч) имеют эндогенную природу и определяются периодической активацией нервной системы. В частности, 2–5-часовые ритмы активности/покоя у грызунов связывают с периодическими колебаниями в дофаминергических структурах полосатого тела головного мозга [7, 8].

Некоторые авторы указывают на возможность синхронизации биологических ритмов факторами внешней среды, в том числе и квазиритмическими колебаниями геомагнитного поля (ГМП) [9, 10]. В частности в динамике двигательной активности крыс были выявлены ритмические составляющие характерные для спектра колебаний ГМП [11]. В диапазоне частот 0,5–3 мГц при исследовании на здоровых людях показана синхронизация динамики вариабельности сердечного ритма с изменениями ГМП [12]. Также выявлена связь изменения активности автономной нервной системы с геомагнитными факторами среды [13, 14].

Ранее нами было установлено, что у мелких млекопитающих и птиц, различающихся уровнем обмена веществ, периоды ежеминутных изменений температуры тела одинаковые и, более того, у разных особей эти ритмы совпадают по фазе [15]. Этот факт указывает либо на экзогенный механизм их формирования, либо на высокую степень синхронизации этих эндогенных ритмов фактором/факторами внешней среды.

Было показано, что фаза ритмов температуры тела в диапазоне 100–200 мин у мышей находящихся на разных долготах (Москва и Ульяновск) в условиях постоянного освещения и, следовательно, лишенных световых ориентиров смены цикла день/ночь, приурочены к местному солнечному времени [16]. Этот факт также указывает на существование внешнего фактора среды отличного от режима свет/темнота, который синхронизирует ультрадианные ритмы (УР). В качестве такого синхронизатора цикла активность/покой могут выступать вариации ГМП [17].

Детального анализа сопряженности изменений ритмичности динамики температуры тела у двух изолированных друг от друга групп животных не проводилось, тогда как такие данные были бы полезны для изучения механизмов формирования и синхронизации УР. Учитывая, что ГМП может быть фактором синхронизации УР целесообразно оценить влияние периодов возмущенного ГПМ на выраженность синхронизации ритмов активности между двумя изолированными друг от друга группами лабораторных животных.

Цель – изучить динамику изменения степени синхронизации ритмов температуры тела в 6–20 и 100–260-минутном диапазоне периодов между двумя изолированными друг от друга и находящимися в условиях постоянного освещения группами мышей, а также оценить влияние на этот показатель периодов возмущенной геомагнитной обстановки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на половозрелых самцах мышей линии C57Bl/6 массой тела 26–29 г (n=16). Было сформировано две равных по численности (n=8) группы животных одна из которых находилась в изолированной комнате вивария ИВНД и НФ РАН (мыши этой группы получены из вивария ИППЭ РАН), а вторая группа располагалась в нежилой квартире жилого дома (мыши этой группы получены из вивария НИИ морфологии человека). Расстояние между пунктами содержания этих двух групп мышей составляло 2 км. При работе с экспериментальными животными руководствовались Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей (Страсбург, 1986 г.). Животных первой группы содержали в двух звукоизолированных вентилируемых камерах, с внутренним размером 110х45х70 см. Мыши содержались по одной особи в пластиковых прозрачных боксах размерами 16х16х40см. В каждой камере размещалось по 4 бокса и, соответственно, в двух камерах – 8 мышей. В камерах поддерживалась постоянная температура 23–26 °С, обеспечивался свободный доступ к воде и пище. Животные находились при постоянном освещении интенсивностью 100 лк от источника цветовой температурой 3200К.

Животных второй группы содержали в индивидуальных пластиковых клетках (40×14,5×24 см) при постоянном умеренном освещении (400–500 лк от источника с цветовой температурой 4200К). Доступ к воде и пище был свободным. Запас воды и еды был достаточен для нормального жизнеобеспечения в течение 20 сут.

Измерения температуры тела выполнялись с шагом 1 минута. С этой целью датчики ДТН4-28/ТЛ4-28 (ООО «ЭМБИ РЕСЕРЧ»/ LLC EMBI RESEARCH, Новосибирск) со встроенным 3D акселерометром были имплантированы в брюшную полость животных не позднее, чем за 10 сут до начала эксперимента. При операции в качестве анестетика использовали Золетил («Virbac Sante Animale», Франция), вводимого внутримышечно в дозе 5–7 мг/кг. Данные о температуре и двигательной активности накапливались в памяти датчика в течение 20 сут, а затем считывались бесконтактным способом.

На основании того, что коэффициент корреляции между температурой тела и двигательной активностью исследованных мышей в разные дни составляет от 0,55 до 0,74 при $p < 0,001$, в тексте статьи мы отождествляем повышение температуры тела с увеличением активности животных. Другими авторами у грызунов также установлена выраженная связь УР двигательной активности и температуры тела [18].

Значения планетарного индекса геомагнитной активности (Ap-индекс), Vz-компоненты ММП взяты с сайтов ИЗМИРАН (www.izmiran.rssi.ru) и службы Солнца (США; www.swpc.noaa.gov).

При статистической обработке полученных данных использовали программу Statistica 7.0 (StatSoft, Inc.). Спектральный анализ проводили методом быстрого преобразования Фурье. С целью выявления подобия спектральной плотности мощности колебаний температуры тела у двух групп мышей рассчитывали коэффициент их корреляции по Спирмену (r). С целью выявления фазового соответствия ритмов активности между двумя группами животных использовали метод наложенных эпох: распределяли показатели температуры тела одной группы мышей относительно предварительно выявленных выраженных максимумов (>1 °C от исходного уровня) температуры тела другой группы животных. Статистическую значимость различий между значениями показателей, в зависимости от характера распределения определяли по тесту Манна-Уитни (ненормальное) или t-критерию Стьюдента (нормальное). Результаты расчетов считали статистически значимым при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью выявления степени синхронизации ритмов температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами мышей рассчитывали коэффициент кросс-корреляции между показателями спектральной плотности мощности ежеминутных приростов температуры тела в диапазоне периодов 6–20 мин у этих двух групп животных. Учитывая, что положительный коэффициент корреляции может определяться случайным совпадением выраженности периодов динамики температуры тела этих двух групп мышей, мы рассчитывали коэффициент кросс-корреляции спектров мощности не только для одновременных рядов, но и со сдвигом по времени на 1 сут значений температуры тела одной группы животных

относительно другой. Рассчитанные для суточных временных интервалов коэффициенты кросс-корреляции для одновременных событий (без сдвига по времени) имеют статистически значимо ($p=0,036$) более высокие значения, чем при сдвиге по времени показателей одной группы мышей относительно другой (Рис. 1 А).

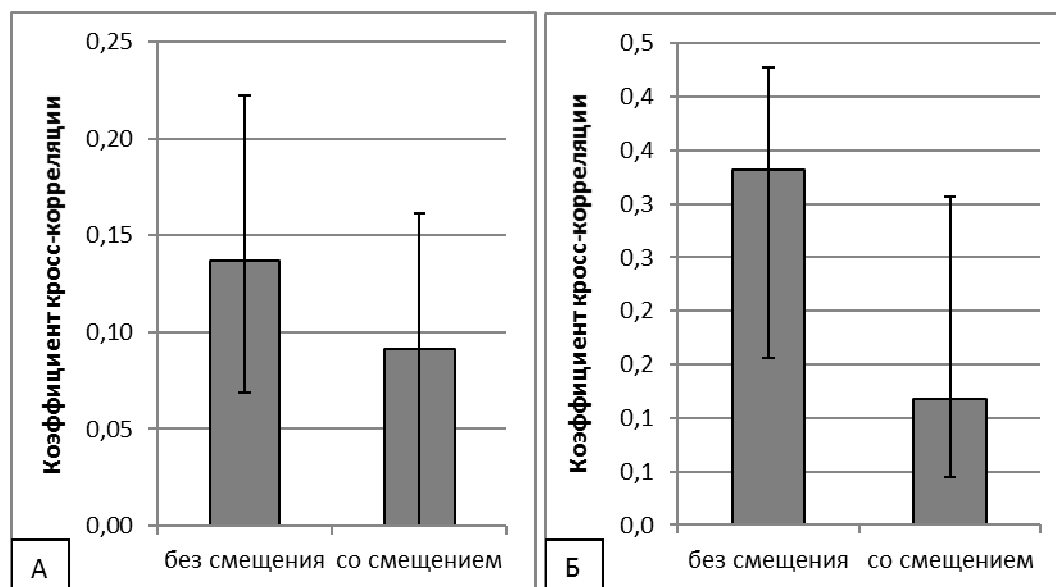


Рис. 1. Рассчитанные коэффициенты корреляции между спектральной плотностью мощности изменений температуры тела двух изолированных друг от друга групп мышей для одновременных измерений (без смещения) и со сдвигом по времени данных одной группы мышей относительно другой. Представлены медианы и интерквартильный размах. **А** – для диапазона периодов 6–20 мин, спектры мощности рассчитаны для суточных временных интервалов; **Б** – для диапазонов периодов 100–260 мин, спектры мощности рассчитаны по 3-суточным временным интервалам.

На рисунке 2 представлена ежесуточная динамика изменения коэффициента корреляции спектральной плотности мощности изменений температуры тела в диапазоне 6–20 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей в сопоставлении с Ар-индексом геомагнитной активности и значением вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля. Можно заметить, что достоверные коэффициенты корреляции между двумя группами мышей наблюдаются не каждый день. Коэффициент корреляции между показателем степени синхронизации ритмов у двух групп мышей и Ар-индексом геомагнитной активности, характеризующим уровень возмущенности ГМП, составил $-0,36$ ($p=0,019$), а с показателем напряженности вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля равен $0,27$ ($p=0,08$).

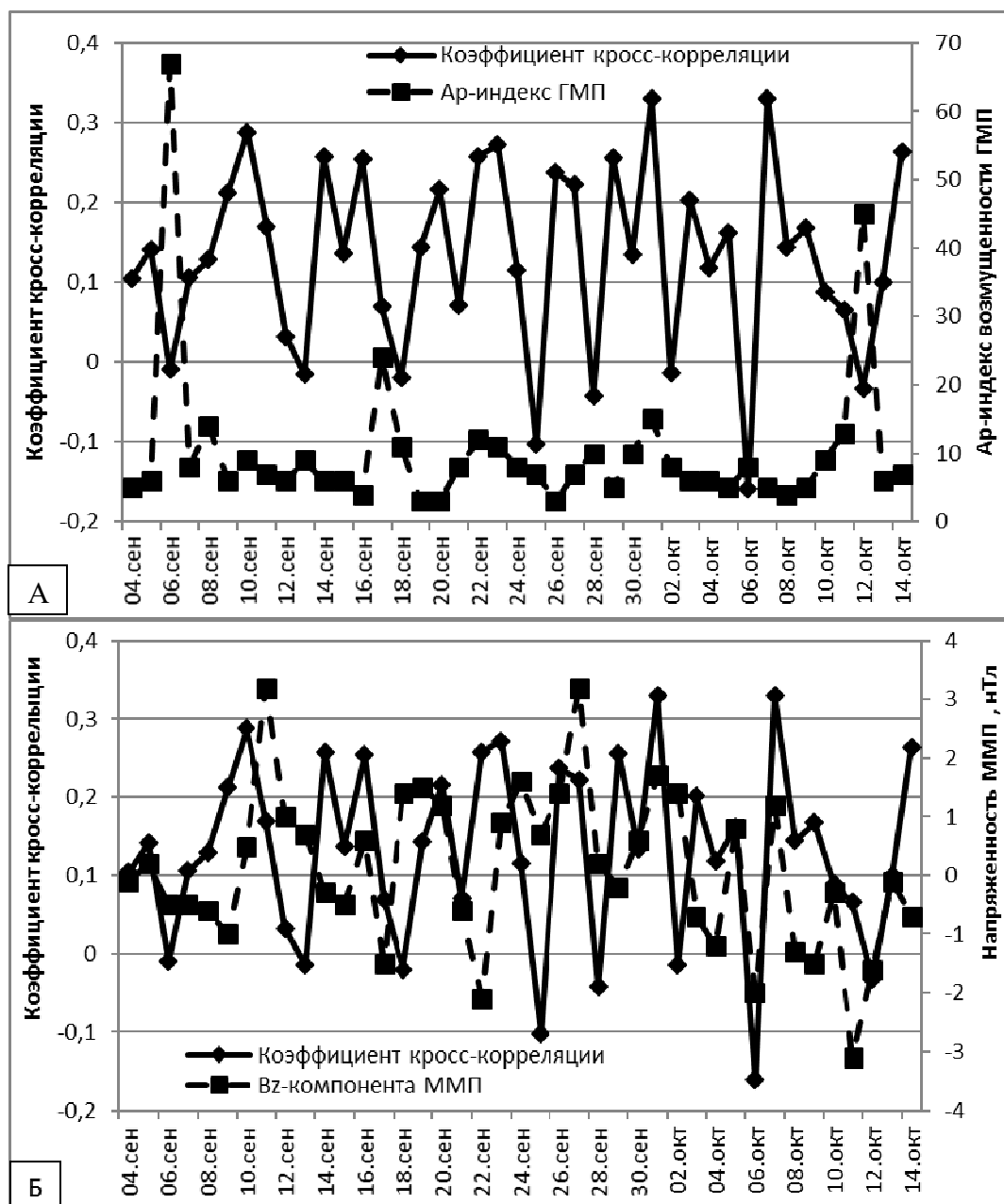


Рис. 2. Ежесуточная динамика изменения коэффициента корреляции спектральной плотности мощности ежеминутных изменений температуры тела в диапазоне 6–20 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей в сопоставлении с Ар-индексом геомагнитной активности (А) и значением вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля (Б). Статистически значимыми коэффициентами корреляции являются значения ≥ 0.14 .

Исследуя степень сопряженности изменений спектра температуры тела в диапазоне 100–260 мин рассчитывали коэффициенты кросс-корреляции спектральной плотности мощности между двумя группами животных для трехсуточных временных отрезков. В 64 % случаев (9 из 14) коэффициент корреляции был статистически значим (Рис. 3). Коэффициент кросс-корреляции между показателями спектральной плотности мощности температуры тела в диапазоне 100–260 мин у этих двух групп животных при расчете для одновременных событий статистически значимо ($p=0,026$) выше, чем при расчете для сдвинутых по оси времени на 3 сут (Рис. 1 Б).

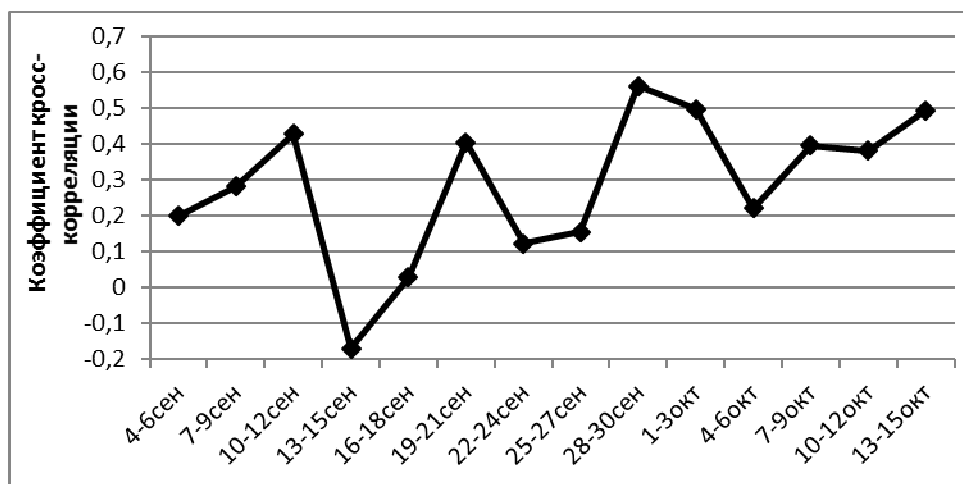
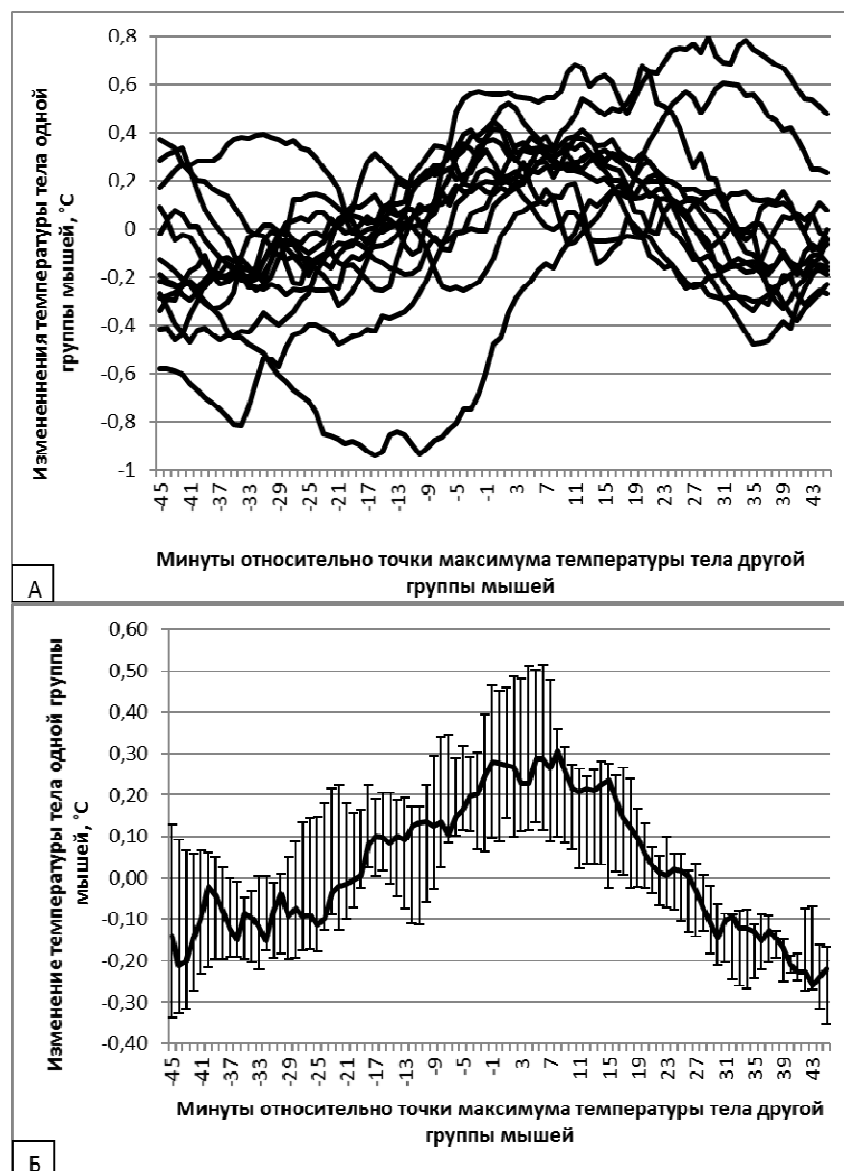


Рис. 3. Динамика значений коэффициента корреляции спектральной плотности мощности температуры тела в диапазоне 100–260 мин между двумя изолированными друг от друга группами мышей. Спектры мощности и коэффициенты корреляции рассчитаны для 3-суточных временных интервалов. Статистически значимыми коэффициентами корреляции являются значения $\geq 0,22$.

С целью выявления фазового соответствия циклов активность/покой между животными разных групп нами было выполнено методом наложения эпох распределение значений температуры тела одной группы мышей относительно точек максимумов соответствующих увеличению более чем на 1°C температуры тела мышей другой группы. При анализе использовали медианные значения температуры тела по группе мышей. На Рисунке 4 А представлен пример посуточных кривых распределения отклонений от среднего значения температуры тела мышей для данного временного участка. Затем было вычислено медианное значение и интерквартильный размах отклонений температуры тела относительно среднего уровня для данных полученных на суточных временных интервалах за три периода наблюдений (Рис. 4 Б, В, Г). Для всех трех временных интервалов исследования (4–14 сентября, 15 сентября – 1 октября и 2–14 октября) в области максимумов температуры тела одной группы мышей (10 мин до – 20 мин после)

наблюдаются положительные значения отклонений температуры тела другой группы мышей, а в остальные периоды за 40–15 мин до и 30–45 мин после максимума температуры тела – отрицательные значения. Между показателями отклонений температуры тела мышей одной группы в период 10 мин до – 20 мин после максимумов температуры тела мышей другой группы и остальными временными отрезками (40–15 мин до и 30–45 мин после) выявляется статистически значимое различие ($p < 0,001$).



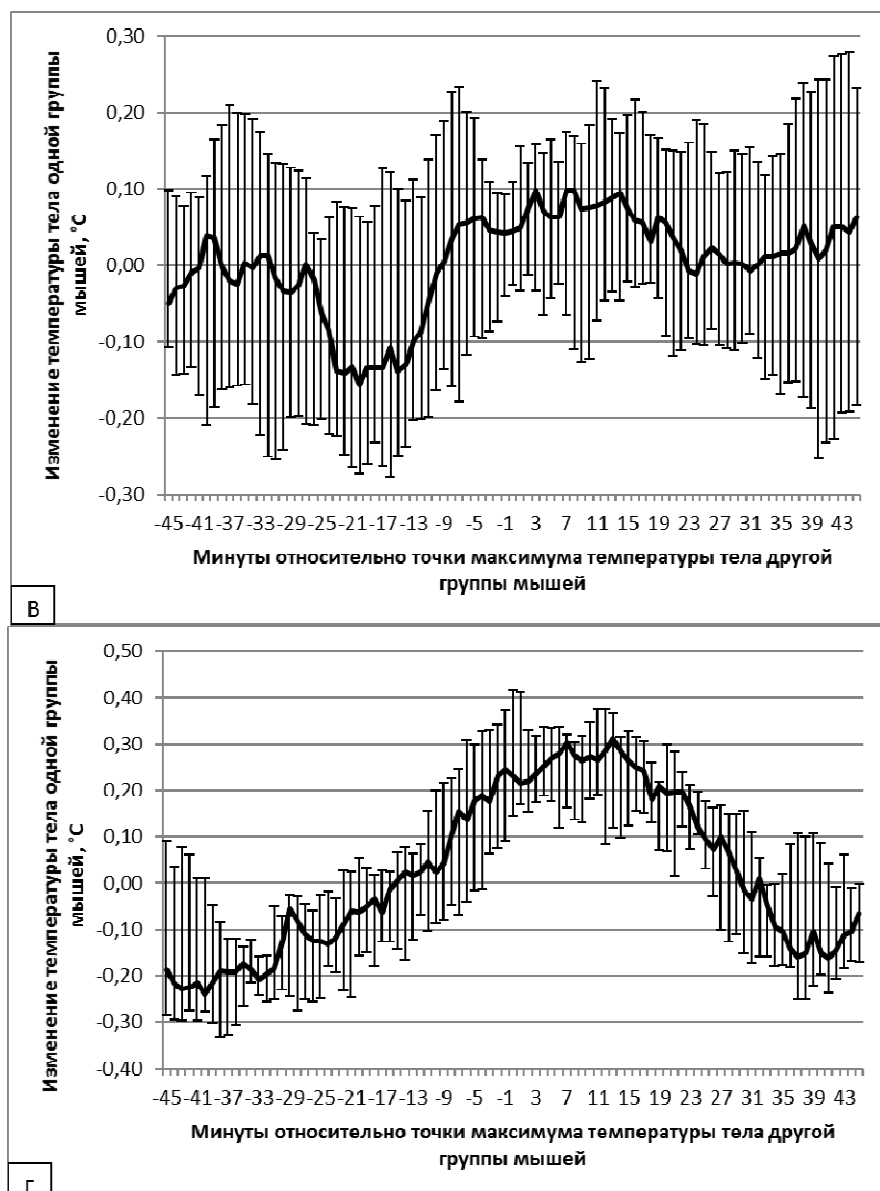


Рис. 4. Распределение методом наложенных эпох значений температуры тела одной группы мышей относительно точек максимумов соответствующих увеличению более чем на 1°C температуры тела мышей другой группы. **А** – Пример динамики отклонений температуры тела относительно среднего уровня, усредненных за суточные интервалы. **Б** – Медианное значение и интерквартильный размах отклонений температуры тела относительно среднего уровня для данных полученных на суточных интервалах за периоды наблюдений 4 – 14 сентября, **В** – 15 сентября – 1 октября и **Г** – 2 – 14 октября 2021г.

Нами показано, что в двух диапазонах периодов (6–20 мин и 100–260 мин) значения коэффициента корреляции между спектрами мощности температуры тела мышей двух групп, изолированных друг от друга и от световых ориентиров смены цикла день/ночь, статистически значимо выше при расчете одновременных рядов данных, чем при смещении по времени температурных данных одной группы мышей относительно другой. Следовательно, связь ритмичности изменения температуры тела не определяется случайным совпадением значений периодов, характерных для мышей обеих групп, т.к. в различные временные интервалы преобладают разные по значению периодичности, но в обеих исследуемых группах животных одновременно наблюдаются сходные гармоника. Если бы при расчете без смещения по времени и со смещением данных одной группы мышей относительно другой положительные коэффициенты корреляций спектральной плотности изменений температуры тела мышей были бы одинаковыми, это означало бы, что они определяются случайным совпадением характерных для обеих групп животных ритмов, которые не изменяются день ото дня.

Можно предположить, что синхронные изменения преобладающих периодов в динамике температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей вызывает внешний квазиритмический фактор среды, который либо непосредственно определяет эти ритмы активности мышей, либо синхронизирует их эндогенные ритмы. Установленный нами факт фазового совпадения ритмов активности между двумя исследуемыми группами мышей дополнительно свидетельствует в пользу гипотезы существования внешнего синхронизирующего УР грызунов фактора среды отличного от режима свет/темнота.

Нами показано, что увеличение возмущенности ГМП приводит к снижению степени синхронизации ритмов температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами мышей. При отрицательных значениях вертикальной составляющей межпланетного магнитного поля, которые способствуют нарушению квазиритмических колебаний ГМП также наблюдается снижение значений коэффициента корреляции спектров мощности температуры тела между двумя исследуемыми группами мышей. Аналогичные данные о десинхронизирующем влиянии геомагнитных возмущений и бурь были получены Гурфинкелем при наблюдениях за ритмическими изменениями параметров сердечно-сосудистой системой [19]. Однако все эти данные нельзя однозначно трактовать как доказательство геомагнитной природы внешнего синхронизатора УР, так как в периоды магнитных бурь изменяется целый комплекс параметров окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изменения спектров мощности динамики температуры тела у двух групп мышей, изолированных друг от друга и от суточного режима смены освещения день/ночь, взаимосвязаны.
2. Синхронные изменения преобладающих частот в динамике температуры тела у двух изолированных друг от друга групп мышей указывают на существование внешнего квазиритмического фактора среды, влияющего на баланс

симпатический/парасимпатического отдела вегетативной нервной системы животных и циклы активность/покой.

3. Возмущенная геомагнитная обстановка отрицательно влияет на степень синхронизации УР температуры тела между двумя изолированными друг от друга группами лабораторных мышей.

На основании представленных результатов можно утверждать, что активность мышей не случайна во времени, а определяются активизирующим влиянием на организм квазиритмического фактора внешней среды. Проведение дальнейших исследований по поиску природы этого внешнего физического синхронизатора УР приведет к разработке способа немедикаментозного метода влияния на нервную систему организма с целью коррекции ряда заболеваний, в том числе и нарушений сна.

Исследование выполнено из средств государственного бюджета и частично при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-013-00603а.)

Список литературы

1. Eastman C. Circadian temperature and wake rhythms of rats exposed to prolonged continuous illumination / C. Eastman, A. Rechtschaffen // *Physiology & Behavior*. – 1983. – Vol. 31, № 4. – P. 417–427.
2. Mohr E. Variations of core-temperature rhythms in unrestrained sheep / E. Mohr, H. Krzywanek // *Physiology & Behavior*. – 1990. – Vol. 48, № 3. – P. 467–473.
3. Monto S. Very slow EEG fluctuations predict the dynamics of stimulus detection and oscillation amplitudes in humans / S. Monto, S. Palva, J. Voipio, J. M. Palva // *Journal of Neuroscience*. – 2008. – Vol. 28, № 33. – P. 8268–8272.
4. Crevecoeur F. Towards a “gold-standard” approach to address the presence of long-range auto-correlation in physiological time series / F. Crevecoeur, B. Bollens, C. Detrembleur, T. M. Lejeune // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2010. – Vol. 192, № 3. – P. 163–172.
5. Nepomnyashchikh V. A. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves) / V. A. Nepomnyashchikh, A. S. Opaev // *Doklady Biological Sciences*. – 2014. – Vol. 454, № 2. – P. 43–45.
6. Goh G. H. Episodic ultradian events-ultradian rhythms / G. H. Goh, S. K. Maloney, P. J. Mark, D. Blache // *Biology (Basel)*. – 2019. – Vol. 8, № 1.
7. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin, M. V. Kokoeva, A. Gratton, B. Giros, K.-F. Storch // *Elife*. – 2014. – Vol. 3. – e05105
8. Bourguignon C. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock / C. Bourguignon, K. F. Storch // *Frontiers in Neurology*. – 2017. – Vol. 8. – P. 614.
9. Martynyuk V. S. Biological rhythms and electromagnetic fields of the environment / V. S. Martynyuk, B. M. Vladimirovsky, N. A. Temuryants // *Geophysical processes and biosphere*. – 2006. – Vol. 5, № 1. – P. 5–23.
10. Martynyuk V. S. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals / V. S. Martynyuk, N. A. Temuryants // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2010. – Vol. 46, № 7. – P. 820–829.
11. Мартынюк В. С. Внутрисуточные гео- и гелиофизически значимые периоды в интегративном ритме двигательной активности животных / В. С. Мартынюк // *Биофизика*. – 1998. – Т. 43, № 5. – С. 789–796.
12. Zenchenko T. A. Synchronization between human heart rate dynamics and Pc5 geomagnetic pulsation at different latitudes / T. A. Zenchenko, M. Jordanova, L. V. Poskotinova, A. A. Medvedeva, A. E. Alenikova, N. I. Khorseva // *Biophysics*. – 2014. – Vol. 59, № 6. – С. 965–972.

13. Palmer S. J. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface / S. J. Palmer, M. J. Rycroft, M. Cernack // *Surveys in Geophysics*. – 2006. – Vol. 27, № 5. – P. 557–595.
14. McCraty R. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects / R. McCraty, M. Atkinson, V. Stolc, A. A. Alabdulgader, A. Vainoras, M. Ragulskis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 770.
15. Diatropov M. E. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels / M. E. Diatropov, V. A. Panchelyuga, M. S. Panchelyuga, A. V. Surov // *Doklady Biological Sciences*. – 2020. – Vol. 494. – P. 228–231.
16. Diatropov M. E. Phase analysis of ultradian rhythms of body temperature in laboratory mice maintained under constant illumination at different longitudinal locations / M. E. Diatropov, S. M. Slesarev, T. A. Zenchenko // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. – 2021. – Vol. 172. – P. 72–76.
17. Dorokhov V. B. Synchronization of activity–rest cycle indicators in mice with geomagnetic field variations in the millihertz frequency range / V. B. Dorokhov, G. N. Arseniev, D. S. Sakharov, O. N. Tkachenko, M. E. Diatropov, T. A. Zenchenko // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2021. – Vol. 57, № 10. – P. 1308–1321.
18. Honma K. I. Endogenous ultradian rhythms in rats exposed to prolonged continuous light / K. I. Honma, T. Hiroshige // *American Journal of Physiology*. – 1978. – Vol. 235, № 5. – P. 250–256.
19. Гурфинкель Ю. И. Ишемическая болезнь сердца и солнечная активность / Ю. И. Гурфинкель. – М: ИИКИ «Эльф-3», 2004. – 170 с.

ON THE RELATIONSHIP OF CHANGES IN THE ULTRADIAN RHYTHMS OF THE BODY TEMPERATURE OF TWO MICE GROUPS ISOLATED FROM EACH OTHER

Diatropov M. E.^{1,2}, Arseniev G. N.³, Shateeva V. S.⁴, Ligun N. B.³, Dorokhov V. B.³

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

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

³*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

⁴*Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russian Federation*

E-mail: diatrom@inbox.ru

We studied the dynamics of changes in the degree of synchronization of body temperature rhythms in the 6–20 and 100–260 minute range of periods between two groups of mice isolated from each other and under constant illumination, and to assess the effect of periods of disturbed geomagnetic conditions on this indicator. Groups of mice were kept under constant illumination, which avoids synchronization of the activity rhythms by the light factor – changing the light/dark cycle. Body temperature measurements were performed in 1 minute increments. The distance between the sites of these two groups of mice was 2 km. For this purpose, sensors DTN4-28 / TL4-28 (LLC EMBI RESEARCH, Novosibirsk) with a built-in 3D accelerometer were implanted into the abdominal cavity of animals no later than 10 days before the start of the experiment. During the operation, Zoletil (Virbac Sante Animale, France) was used as an anesthetic, administered intramuscularly at a dose of 5–7 mg/kg.

We have shown that in two ranges of periods (6–20 min and 100–260 min), the values of the correlation coefficient between the power spectra of body temperature of mice of two groups, isolated from each other and from the light cues of the day / night cycle change, are statistically significantly higher when calculating simultaneous data series than when the temperature data of one group of mice are shifted in time relative to another. Consequently, the relationship between the rhythmicity of changes in body temperature is not determined by a random coincidence of the values of the periods characteristic of mice of both groups, since at different time intervals, different in terms of frequency prevail, but in both studied groups of animals, similar harmonics are simultaneously observed. If, when calculating without a shift in time and with a shift in the data of one group of mice relative to another, the positive correlation coefficients of the spectral density of changes in body temperature of mice were the same, this would mean that they are determined by a random coincidence of rhythms characteristic of both groups of animals that do not change from day to day.

It can be assumed that synchronous changes in the prevailing periods in the dynamics of body temperature in two groups of mice isolated from each other cause an external quasi-rhythmic environmental factor, which either directly determines these rhythms of activity in mice, or synchronizes their endogenous rhythms. The fact of the phase coincidence of activity rhythms between the two studied groups of mice, which we established, additionally testifies in favor of the hypothesis of the existence of an external synchronizing ultradian rhythms in rodents of an environmental factor different from the light / dark regime.

We have shown that an increase in the disturbance of the geomagnetic field leads to a decrease in the degree of synchronization of body temperature rhythms between two groups of mice isolated from each other. At negative values of the vertical component of the interplanetary magnetic field, which contribute to the disturbance of quasi-rhythmic oscillations of the geomagnetic field, a decrease in the values of the correlation coefficient of the power spectra of body temperature between the two studied groups of mice is also observed. Similar data on the desynchronizing effect of geomagnetic disturbances and storms were obtained by Gurfinkel while observing the rhythmic changes in the parameters of the cardiovascular system [19]. However, all these data cannot be unambiguously interpreted as proof of the geomagnetic nature of the external synchronizer of the UR, since a whole complex of environmental parameters changes during periods of magnetic storms.

Thus we can conclude: 1) Changes in the power spectra of body temperature dynamics in two groups of mice, isolated from each other and from the daily regime of day / night light change, are interrelated. 2) Synchronous changes in the prevailing frequencies in the dynamics of body temperature in two isolated groups of mice indicate the existence of an external quasi-rhythmic environmental factor that affects the balance of the sympathetic / parasympathetic division of the vegetative nervous system of animals and the activity / rest cycles. 3) The disturbed geomagnetic situation negatively affects the degree of synchronization of the UR of body temperature between two groups of laboratory mice isolated from each other.

Based on the results presented, it can be argued that the activity of mice is not random in time, but is determined by the activating effect of the quasi-rhythmic factor of the

external environment on the body. Further research to find the nature of this external physical synchronizer of ultradian rhythms will lead to the development of a non-drug method of influencing the nervous system of the body in order to correct a number of diseases, including sleep disorders.

Keywords: ultradian rhythms, activity/rest cycle, synchronizers, geomagnetic field, mice.

References

1. Eastman C., Rechtschaffen A. Circadian temperature and wake rhythms of rats exposed to prolonged continuous illumination. *Physiology & Behavior*, **31**(4), 417 (1983).
2. Mohr E., Krzywanek H. Variations of core-temperature rhythms in unrestrained sheep. *Physiology & Behavior*, **48**(3), 467 (1990).
3. Monto S., Palva S., Voipio J., Palva J. M. Very slow EEG fluctuations predict the dynamics of stimulus detection and oscillation amplitudes in humans. *Journal of Neuroscience*, **28**, **33**, 8268 (2008).
4. Crevecoeur F., Bollens B., Detrembleur C., Lejeune T. M. Towards a “gold-standard” approach to address the presence of long-range auto-correlation in physiological time series. *Journal of Neuroscience Methods*, **192**(3), 163 (2010).
5. Nepomnyashchikh V. A., Opaev A. S. Correlations in the Rhythmic Organization of Singing in the Great Reed Warbler (*Acrocephalus arundinaceus*, Sylviidae, Aves). *Doklady Biological Sciences*, **454**(2), 43 (2014).
6. Goh G. H., Maloney S. K., Mark P. J., Blache D. Episodic ultradian events-ultradian rhythms. *Biology (Basel)*, **8**(1), (2019).
7. Blum I. D., Zhu L., Moquin L., Zhu L., Moquin L., Kokoeva M. V., Gratton A., Giros B., Storch K.-F. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3** (2014).
8. Bourguignon C., Storch K. F. Control of rest: activity by a dopaminergic ultradian oscillator and the circadian clock. *Frontiers in Neurology*, **8**, 614 (2017).
9. Martynyuk V. S., Vladimirovsky B. M., Temuryants N. A. Biological rhythms and electromagnetic fields of the environment. *Geophysical processes and biosphere*, **5**(1), 5 (2006).
10. Martynyuk V. S., Temuryants N. A. Extremely low magnetic fields as a factor of modulation and synchronization of infradian biorhythms in animals. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **46**(7), 820 (2010).
11. Martynyuk V. S. Intraday geo- and heliophysically significant periods in the integral rhythm of motor activity of animals. *Biophysics*, **43**(5), 789 (1998)/
12. Zenchenko T. A., Jordanova M., Poskotinova L. V., Medvedeva A. A., Alenikova A. E., Khorseva N. I. Synchronization between human heart rate dynamics and Pc5 geomagnetic pulsation at different latitudes. *Biophysics*, **59**(6), 965 (2014).
13. Palmer S. J., Rycroft M. J., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surveys in Geophysics*, **27**(5), 557 (2006).
14. McCraty R., Atkinson M., Stole V., Alabdulgader A. A., Vainoras A., Ragulskis M. Synchronization of human autonomic nervous system rhythms with geomagnetic activity in human subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(7), 770 (2017).
15. Diatropov M. E., Panchelyuga V. A., Panchelyuga M. S., Surov A. V. Circadian rhythms of body temperature in mammals and birds with different metabolism levels. *Doklady Biological Sciences*, **494**, 228 (2020).
16. Diatropov M. E., Slesarev S. M., Zenchenko T. A. Phase analysis of ultradian rhythms of body temperature in laboratory mice maintained under constant illumination at different longitudinal locations. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **172**, 72 (2021).
17. Dorokhov V. B., Arseniev G. N., Sakharov D. S., Tkachenko O. N., Diatropov M. E., Zenchenko T. A. Synchronization of activity–rest cycle indicators in mice with geomagnetic field variations in the millihertz frequency range. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **57**(10), 1308 (2021).
18. Honma K. I., Hiroshige T. Endogenous ultradian rhythms in rats exposed to prolonged continuous light. *American Journal of Physiology*, **235**(5), 250 (1978).
19. Gurfinkel Y. I. *Coronary artery disease and solar activity* (IKC «El'f-3», Moscow, 2004) 170 pp.

УДК 619:615.357:636.22/.28

АКТИВНОСТЬ ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФАТАЗЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У ТЕЛОЧЕК И НЕТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ПОРОД

Еременко В. И.¹, Ротмистровская Е. Г.², Стебловская С. Ю.¹

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

²Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

E-mail: vic.eriomenko@yandex.ru

Основным местом синтеза щелочной фосфатазы являются энтероциты кишечника. Этот фермент способствует транспорту через мембрану энтероцитов глюкозы и других мономеров, а также участвует в реакции фосфорилирования. Щелочная фосфатаза участвует в поддержании гомеостаза, регуляции роста и адаптации организма к условиям внешней среды. Объектом исследования были животные голштинизированной черно-пестрой, симментальской, абердин-ангусской и помесей симментальской х абердин-ангусской. Исследования проводились в период от рождения телочек и до их отела. В образцах крови определяли активность щелочной фосфатазы. Установлено, что в период роста и прогрессирования стельности активность щелочной фосфатазы постепенно увеличивается. Максимальные значения активности этого фермента наблюдаются в конце стельности. Во все периоды опыта от рождения телочек до окончания их стельности относительно более высокие показатели активности щелочной фосфатазы наблюдаются у телочек симментальской и черно-пестрой пород по отношению к данным абердин-ангусской породы и помесей (абердин-ангусской х симментальской).

Ключевые слова: телочки, нетели, голштинизированная черно-пестрая, симментальская, абердин-ангусская и помеси (симментальской х абердин-ангусской), щелочная фосфатаза.

ВВЕДЕНИЕ

Щелочная фосфатаза синтезируется энтероцитами кишечника и участвует в транспорте через мембрану энтероцитов глюкозы и других мономеров, а также в реакции фосфорилирования [1]. Этот фермент имеет способность к регуляции дифференцировки остеобластов и служит для них особым маркером [2]. Резкое изменение активности этого фермента наблюдается при патологических состояниях организма животного, связанных с нарушением кровоснабжения органов, в том числе почках, легких, патологиях роста костей [3]. При низкой активности этого фермента в организме происходит недостаток магния и цинка, наблюдается белковая недостаточность [4]. Щелочная фосфатаза участвует в поддержании гомеостаза, регуляции роста и адаптации организма к условиям внешней среды [5, 6]. Вместе с тем в литературе недостаточно сведений об особенностях активности щелочной фосфатазы в онтогенезе и в связи и породной принадлежностью крупного рогатого скота [7–10].

Целью исследования является изучение динамики активности щелочной фосфатазы в онтогенезе (от рождения до конца стельности) у разных пород

крупного рогатого скота (голштинизированной черно-пестрой, симментальской, абердин-ангусской и помесей симментальской х абердин-ангусской).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-производственные опыты проведены на клинически здоровых животных голштинизированной черно-пестрой, симментальской, абердин-ангусской и помесей симментальской х абердин-ангусской. Для исследования было сформировано 4 группы животных по 10 голов в каждой исследуемых пород. Исследования проводились в период от рождения телочек до их отела. Во время опыта животные содержались в одинаковых условиях. Рацион кормления соответствовал зоотехническим нормам и соответствовал их физиологическому состоянию. Кровь отбирали из хвостовой вены до утреннего кормления у телочек при рождении в 3, 6, 12 и 15 месяцев, а во время стельности ежемесячно. В образцах крови определяли активность щелочной фосфатазы, на биохимическом анализаторе «Saphire-400» с использованием реактивов фирмы «BioSistems». Полученные результаты были подвергнуты биометрической обработке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные материалы исследования активности щелочной фосфатазы у телочек от рождения до 15-ти месячного возраста представлены на рисунке 1.

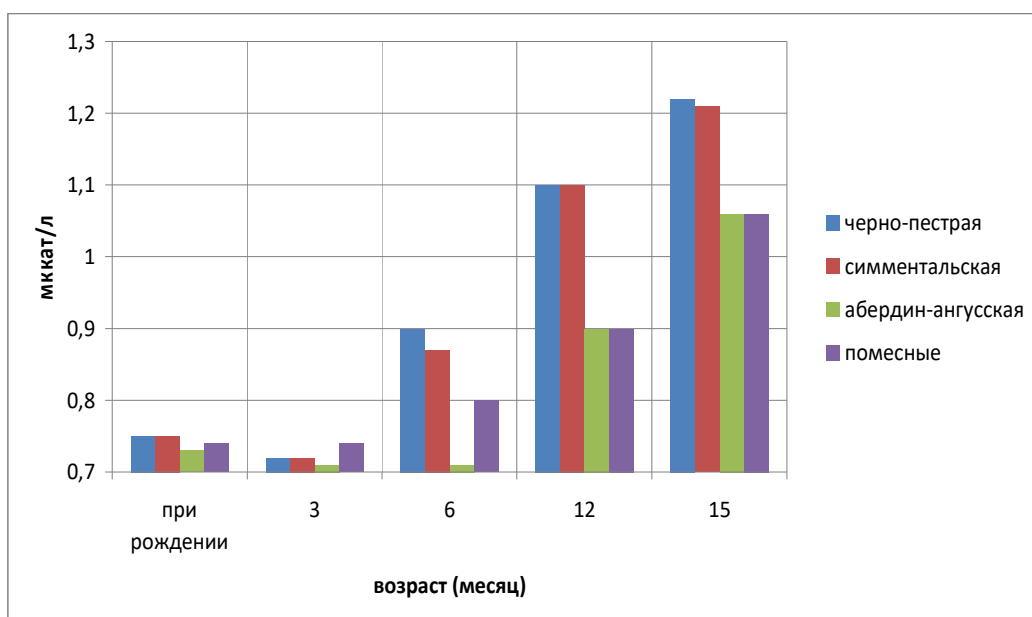


Рис. 1. Динамика щелочной фосфатазы у телочек разных пород.

Как видно из представленных данных при рождении подопытные телочки имели примерно одинаковую активность щелочной фосфатазы в крови. Так у

телочек черно-пестрой и симментальской породы активность фермента при рождении была одинаковой и составляла $0,75 \pm 0,03$ мккат/л., у абердин-ангусской $0,73 \pm 0,03$ мккат/л., а у помесных животных $0,74 \pm 0,04$ мккат/л. К 3-х месячному возрасту активность щелочной фосфатазы у подопытных животных существенно не изменилась.

К 6-ти месячному возрасту уровень активности фермента у всех подопытных животных существенно увеличился и составил у черно-пестрой породы $0,90 \pm 0,04$ мккат/л., у симментальской $0,87 \pm 0,03$ мккат /л., у помесных животных $0,80 \pm 0,03$ мккат /л. У абердин-ангусских телочек этот показатель был гораздо ниже и составлял $0,71 \pm 0,04$ мккат/л. По отношению к черно-пестрым телочкам эти различия были статистически достоверными ($P < 0,05$). В дальнейшем с увеличением возраста телочек активность фермента постепенно увеличивалась. В 12-ти месячном возрасте статистически достоверные различия были отмечены по отношению к черно-пестрой и симментальской породам у абердин-ангусской породы и помесей, у которых активность фермента была ниже по отношению к симментальской и черно-пестрой породам ($P < 0,05$). В 15-ти месячном возрасте активность фермента у телочек была максимальной и составила у черно-пестрой породы $1,22 \pm 0,05$ мккат/л., у симментальских $1,21 \pm 0,04$ мккат/л., у абердин-ангусских телочек и у помесей этот показатель был одинаковым и составил $1,06 \pm 0,05$ мккат/л. Эти различия были статистически достоверными по отношению к данным черно-пестрой и симментальской пород ($P < 0,05$). В дальнейшем наблюдение за животными в период стельности свидетельствует о том, что активность щелочной фосфатазы была также подвержена значительным изменениям.

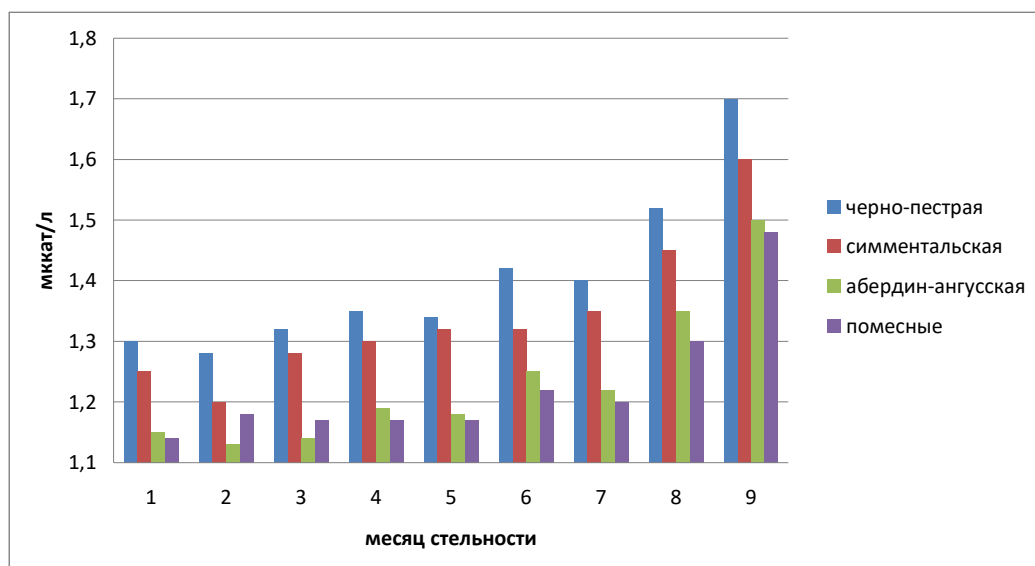


Рис. 2. Динамика щелочной фосфатазы у нетелей разных пород.

Из данных приведенных на рисунке 2 видно, что незначительно более высокие показатели активности щелочной фосфатазы были у телочек черно-пестрой и симментальской пород по отношению к абердин-ангусской породе и помесям. Эти различия были статистически достоверными ($P < 0,05$). На первом месяце стельности активность фермента у черно-пестрых нетелей составляла $1,3 \pm 0,05$ мккат/л., у симментальских $1,25 \pm 0,04$ мккат/л., у абердин-ангусской породы $1,15 \pm 0,05$ мккат/л., у помесей $1,14 \pm 0,05$ мккат/л. К 2-х месячной стельности активность фермента существенно не изменилась. К 3-ему месяцу стельности наблюдалось незначительное увеличение активности щелочной фосфатазы. У черно-пестрых нетелей в этот период стельности активность щелочной фосфатазы составляла $1,32 \pm 0,05$ мккат/л., у симментальских $1,28 \pm 0,04$ мккат/л., у абердин-ангусской породы $1,14 \pm 0,04$ мккат/л., у помесей $1,17 \pm 0,04$ мккат/л. У абердин-ангусских нетелей и у помесей по отношению к черно-пестрой и симментальской породам различия были статистически достоверными ($P < 0,05$). В дальнейшем с увеличением срока стельности активность щелочной фосфатазы у всех подопытных животных постепенно увеличивалась и своего максимального значения достигала на 9 месяце стельности. В этот период стельности активность фермента у черно-пестрой породы составляла $1,7 \pm 0,06$ мккат/л., у симментальской $1,6 \pm 0,07$ мккат/л. У абердин-ангусских нетелей и у помесей активность фермента была ниже и составляла $1,5 \pm 0,05$ мккат/л., и $1,48 \pm 0,06$ мккат/л., соответственно. По отношению к черно-пестрой породе различия были статистически достоверными ($P < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С увеличением возраста телочек и срока их стельности независимо от их породной принадлежности активность щелочной фосфатазы постепенно увеличивается и своего максимального значения достигает в конце стельности.
2. Во все периоды опыта от рождения телочек до окончания их стельности относительно более высокие показатели активности щелочной фосфатазы наблюдаются у телочек симментальской и черно-пестрой пород по отношению к данным абердин-ангусской породы и помесей (абердин-ангусской х симментальской).

Список литературы

1. Морозов И. А. О пищеварительной функции надэпителиального слизистого слоя тонкой кишки / И. А. Морозов, В. Ю. Ишакова, Ю. А. Лысков // Физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 1990. – Т. 76, № 4. – С. 515–522.
2. Vimalraj S. Alkaline phosphatase: Structure, expression and its function in bone mineralization / Vimalraj S. // Gene. – 2020. – 754 – P. 144855.
3. Лысов В. Ф. Физиология и этология животных / Лысов В. Ф., Ипполитова Т. В., Максимов В. И – Издательство: КолосС. – 2012. – 605 с.
4. Кудрин А. Г. Прогнозирование молочной продуктивности крупного рогатого скота по активности ферментов крови / Кудрин А. Г. // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 2. – С. 8–11.
5. Дерхо М. А. Динамика биохимических показателей в ходе остеогенеза после травмы различных костей скелета собак: дис. ... докт. биол. наук, 03.00.04 / Дерхо Марина Аркадьевна. – Москва, 2004. – 365 с.

6. Иванова О. Н. Изучение уровня кальцитонина, остеокальцина и паратгормона крови у больных с хронической почечной недостаточностью / О. Н. Иванова, Т. В. Устюжина, Т. В. Скоринова // International journal of experimental education. – 2015. – №9. – С. 132–135
7. Валге Л. А. Об активности щелочной фосфатазы сыворотки крови крупного рогатого скота / Валге Л. А. // Сб. науч. тр. Эстонской с.-х. акад. – Тарту, 1971. – Т. 74. – С. 47–55.
8. Волохов И. М. Активность аминотрансфераз и скорость роста бычков калмыцкой породы разных отродий / Волохов И. М. // Животноводство. – 1976. – №11. – С. 74–75.
9. Денисенко Г. Г. Динамика активности щелочной фосфатазы сыворотки крови телят при нарушении минерального обмена / Денисенко Г. Г. // Актуальные вопросы патологии и профилактики болезней животных. – Барнаул, 1980. – С. 124–128.
10. Еременко В. И. Динамика активности лактатдегидрогеназы и щелочной фосфатазы у лактирующих коров / Еременко В. И., Горожанкина Г. А., Гатилова Ю. И. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии – 2021. – №1. – С. 79–82.

ALKALINE PHOSPHATASE ACTIVITY IN BLOOD SERUM OF HEIFERS AND HEIFERS OF DIFFERENT BREEDS

Eremenko V. I.¹, Rotmistrovskaya E. G.², Steblovskaya S. Yu.¹

¹*Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia*

²*Kursk State Medical University, Kursk, Russia*

E-mail: vic.eriomenko@yandex.ru

Alkaline phosphatase is synthesized by intestinal enterocytes and participates in the transport of glucose and other monomers through the membrane of enterocytes, as well as in the phosphorylation reaction. This enzyme has the ability to regulate osteoblast differentiation and serves as a special marker for them. A sharp change in the activity of this enzyme is observed in pathological conditions of the animal's body associated with impaired blood supply to organs, including kidneys, lungs, and bone growth pathologies. With low activity of this enzyme in the body, there is a lack of magnesium and zinc, protein deficiency is observed. Alkaline phosphatase is involved in maintaining homeostasis, regulating growth and adapting the body to environmental conditions. At the same time, there is insufficient information in the literature about the peculiarities of alkaline phosphatase activity and the breed affiliation of cattle.

Scientific and production experiments were carried out on clinically healthy animals of Holstein black-and-white, Simmental, Aberdeen-Angus and crossbreeds of Simmental x Aberdeen-Angus. For the study, 4 groups of animals were formed with 10 heads in each of the studied breeds. The studies were conducted in the period from the birth of chicks to their calving. During the experiment, the animals were kept in the same conditions. The feeding ration corresponded to zootechnical norms and corresponded to their physiological state. Blood was taken from the caudal vein before morning feeding from chicks at birth at 3, 6, 12 and 15 months, and during pregnancy monthly. The activity of alkaline phosphatase was determined in blood samples using a biochemical analyzer

"Saphire 400" using reagents from BioSystems. The obtained results were subjected to biometric processing.

With an increase in the age of heifers and the duration of their pregnancy, regardless of their breed affiliation, the activity of alkaline phosphatase gradually increases and reaches its maximum value at the end of pregnancy. In all periods of the experiment from the birth of heifers to the end of their pregnancy, relatively higher indicators of alkaline phosphatase activity are observed in heifers of the Simmental and black-and-white breeds in relation to the data of the Aberdeen-Angus breed and crossbreeds (Aberdeen-Angus x Simmental).

Keywords: heifers, heifers, Holstein black-and-white, Simmental, Aberdeen-Angus and crossbreeds (Simmental x Aberdeen-Angus), alkaline phosphatase.

References

1. Morozov I. A., Ishakova V. Yu., Lysikov Yu. A. On the digestive function of the supra-epithelial mucous layer of the small intestine, *Physiol. I. M. Sechenov Journal*, **76**, **4**, 515 (1990).
2. Vimalraj S. Alkaline phosphatase: Structure, expression and its function in bone mineralization, *Gene*, **754**, 144855 (2020).
3. Lysov V. F., Ippolitova T. V., Maksimov V. I. *Physiology and ethology of animals*, 605 (Publisher: KolosS.- 2012).
4. Kudrin A. G. Forecasting dairy productivity of cattle by the activity of blood enzymes, *Agricultural biology*, **2**, 8 (2003).
5. Derkho M. A. *Dynamics of biochemical parameters during osteogenesis after injury of various bones of the skeleton of dogs*: dis. ... doct. biol. nauk, 03.00.04, (Moscow, 2004), 365 p.
6. Ivanova O. N., Ustyuzhina T. V., Skorinova T. V. Studying the level of calcitonin, osteocalcin and parathyroid hormone in patients with chronic renal insufficiency, *International journal of experimental education*, **9**, 132 (2015).
7. Valge L. A. On the activity of alkaline phosphatase of blood serum of cattle, *Collection of scientific tr. of the Estonian Agricultural Academy*, **74**, 47 (Tartu, 1971).
8. Volokhov I. M. Activity of aminotransferases and growth rate of Calmyk bulls of different offspring, *Animal husbandry*, **11**, 74 (1976).
9. Denisenko G. G. Dynamics of activity of alkaline phosphatase of blood serum of calves in violation of mineral metabolism, *Topical issues of pathology and prevention of animal diseases*, 124 (Barnaul, 1980).
10. Eremenko V. I., Gorozhankina G. A., Gatilova Yu. I. Dynamics of lactate dehydrogenase and alkaline phosphatase activity in lactating cows, *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, **1**, 79 (2021).

УДК 581.1:57.032:57.033

РОСТ *TETRASELMIS VIRIDIS* ROUCH. В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕРОДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Жондарева Я. Д., Тренкениу Р. П., Горбунова С. Ю.

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

В работе представлены результаты экспериментального исследования роста черноморской флагелляты *Tetraselmis* (= *Platymonas*) *viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980, штамм IBSS-25 в альгологически чистой накопительной культуре при различных способах обеспечения углеродом. Способ подачи углерода в культуру в виде барботажа атмосферным воздухом существенно влияет на скорость роста культуры *T. viridis* и связан со скоростью растворения углекислого газа в среде, которая увеличивается с уменьшением объема пузырьков при использовании распылителя. В культуре с распылителем скорость роста более, чем в 2 раза выше по сравнению с обычной трубкой диаметром 2 мм при равной скорости подачи воздуха в культуры. Показано, что накопительная культура *T. viridis* может достигать высокой продуктивности ($0,47 \text{ г АСВ} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$) на участке светозависимого линейного роста при отсутствии углеродного лимитирования.

Ключевые слова: микроводоросли, *Tetraselmis* (= *Platymonas*) *viridis*, накопительная культура, скорость роста, абсолютно сухой вес (=АСВ), углеродное питание.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы стала бурно развиваться аквакультура ценных пород рыб, появилась потребность в пигментах и полиненасыщенных жирных кислотах, которые стимулируют рост и выживаемость личинок рыб, повышают качество конечной продукции [1]. К наиболее перспективным источникам биологически ценных продуктов из микроводорослей относятся морские виды [2]. Они особенно богаты полиненасыщенными жирными кислотами [1–4]. Вместе с тем медицинские исследования показали важную роль полиненасыщенных жирных кислот для здоровья человека, особенно $\omega 3$ и $\omega 6$ кислот [5–7].

Одним из объектов, перспективных для промышленного производства и практического использования можно рассматривать морские одноклеточные водоросли рода *Tetraselmis* = *Platymonas* [8]. Черноморская флагеллята *Tetraselmis viridis* Rouch. впервые описана [9] и выделена в культуру из Черного моря [10]. Эта микроводоросль предложена в качестве перспективного объекта массового культивирования как корма для объектов аквакультуры [11]. Устойчивый непрерывный рост *T. viridis* был получен в хемостате на тихоокеанской воде, что позволило авторам изучить некоторые физиологические характеристики [12]. На основе экспериментов с элементами минерального питания клеток была разработана питательная среда для *Tetraselmis. viridis*, позволяющая получать

устойчивый непрерывный рост микроводоросли в плотной культуре [13]. Реализация интенсивного роста невозможна без достаточного обеспечения клеток минеральным или органическим углеродом. При этом источники углерода должны быть недорогими.

В предлагаемой статье сделана оценка продукционных характеристик культуры микроводоросли *Tetraselmis viridis* при использовании питания клеток углеродом из воздуха и глицерина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект. В опытах использовали альгологически чистую культуру *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R.E.Norris, Hori & Chihara, 1980 [8] – штамм IBSS-25 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН».

Питательная среда. Питательная среда, состав которой представлен в таблице 1, готовилась на основе пастеризованной черноморской воды. Вода имела соленость 1,4 - 1,8 ‰ и находилась в диапазоне оптимальных значений [11, 13].

Таблица 1.

Состав среды для культивирования *T. viridis*

Компонент	Количество, г/л
1. NaNO_3	1,8
2. $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	0,3
3. Na_2EDTA	0,037
4. $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	0,042
5. $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,008
6. $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	0,00625
7. $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	0,00183
8. $\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$	0,00238

Данная питательная среда рассчитана на достижение плотности культуры до 4–6 г (сухой биомассы)/л; при работе с пониженными или повышенными плотностями, концентрации всех элементов следует пропорционально изменить.

T. viridis выращивали накопительным методом в двух стеклянных культиваторах плоскопараллельного (слой 2 см) типа [16], с рабочим объёмом 1 л при боковом поверхностном освещении 10 кЛк. Освещённость поверхности фотобиореакторов определяли люксметром Ю-116. С целью компенсации испарения воды, на протяжении всего эксперимента поддерживали этот объём, доливая перед измерениями дистиллированную воду до отметки 1 л. Скорость продувки воздухом через трубку или распылители в культуре составляла $1 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{л}^{-1}$. Температура среды автоматически поддерживалась на уровне 27–30 °С, которую контролировали ртутным термометром непосредственно в культиваторе. Для засева экспериментальных культиваторов использовали активно делящуюся культуру, начальная плотность которой составила 0,23 г/л сухого вещества.

Оптическую плотность рассчитывали по формуле: $D = -\lg(T)$, где T – величина пропускания, определяемая на Unico 2100 (United Products & Instruments, USA) при длине волны 750 нм, абсолютная погрешность при измерении величины пропускания не превышала 1,0 %. Параллельно аналогичные измерения производили с помощью прибора КФК2. Показания плотности на разных приборах не выявили различий, превышающих абсолютную погрешность. При пересчёте единиц оптической плотности на сухой вес микроводорослей (АСВ) использовали эмпирически определённый коэффициент k , равный $0,9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \text{ ед.опт.пл.}^{-1}$. Определение плотности по сухому весу и подсчет концентрации клеток в камере Горяева производили в пятикратной повторности по методикам, описанным в работе [18]. Микроскопический контроль культуры производили с помощью светового микроскопа Carl Zeiss Axiostar Plus (Carl Zeiss, Германия). Математическую обработку и моделирование экспериментальных данных осуществляли с помощью компьютерных программ «Grapher3» и «Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте испытывали рост культуры микроводоросли *Tetraselmis viridis* при трех различных вариантах углеродного питания культуры. В первом варианте опыта источником углерода служил обычный воздух, подаваемый в культуру компрессором через барботажную трубку с распылителем на конце. Накопительная кривая роста плотности культуры и концентрации клеток показана на рисунке 1. За весь эксперимент, который длился 13 суток, плотность культуры увеличилась от 0,23 до 2,96 г (АСВ)/л, т.е. более чем в 12 раз.

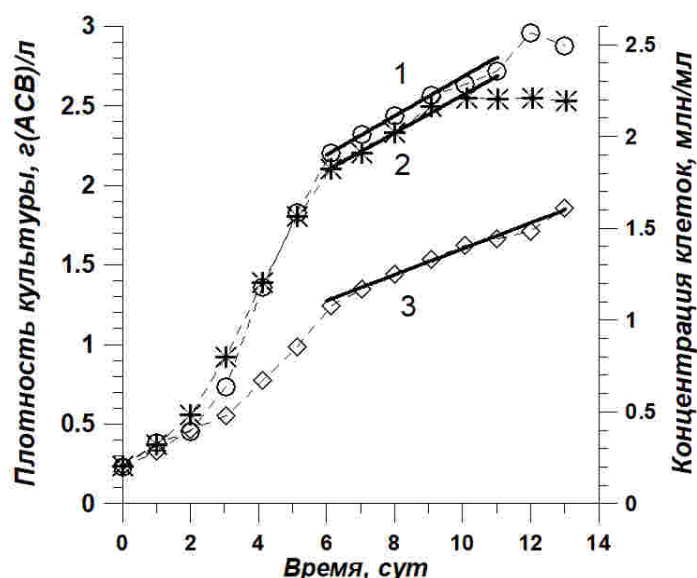


Рис. 1. Динамика роста *Tetraselmis viridis* при различных формах подачи в культуру воздуха – источника углерода. 1 – распылитель, 2 – распылитель + глицерин, 3 – обычная барботажная трубка $\varnothing = 2$ мм. Скорость подачи воздуха одинакова.

Второй вариант опыта отличался тем, что в питательную среду дополнительно был добавлен глицерин в количестве 5,575 г/л. Эта добавка практически не повлияла на рост платимонаса как при низкой, так и высокой концентрации клеток, а некоторые различия в росте лежат в области достоверности измерений (95 %).

В третьем варианте углеродное питание подавали без распылителя на конце барботажной трубки. На рисунке видно, что в этом случае культура росла медленнее по сравнению с 1 и 2 вариантом.

В качестве визуальной иллюстрации плотности культуры первого варианта опыта на рисунке 2 приведены фотографии культиватора на 2 и 4 сутки выращивания микроводорослей.

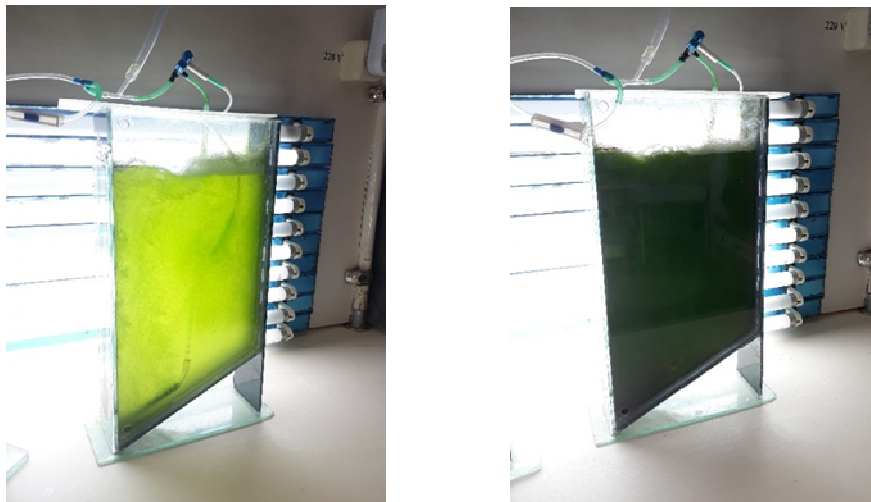


Рис. 2. Фото культиватора в первом опыте на 2 и 4 сутки. (Фото Я. Д. Жондаревой)

Полученные экспериментальные результаты позволяют количественно оценить не только ростовые характеристики *T. viridis*, но и указать на точки смены лимитирующих факторов, определяющих динамику развития культуры [18]. Первые двое суток происходит адаптация культуры к внешним условиям, в первую очередь, к световым, клетки не затевают друг друга и рост практически не отличается во всех трех вариантах.

С помощью анализа накопительных кривых методом линейных сплайнов можно описать динамику роста на отдельных участках роста культуры *T. viridis* и найти коэффициенты уравнений, что позволит дать количественную оценку различий роста в разных вариантах углеродного обеспечения клеток.

С третьих суток начинается линейный рост [18, 19] во всех вариантах опытных культур. Постоянство скорости роста (P_m) наблюдается вплоть до шестых суток. На этом промежутке времени (2–6 сут.) зависимость плотности культуры (B) от

времени (t) линейного роста хорошо ($R_{sq}=0,99$) описываются уравнениями прямой [18, 19]:

$$\begin{aligned} 2 \leq t \leq 6, \\ {}^1B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m1}t - b_1 = 0,47 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle - 0,65 \langle z \cdot l^{-1} \rangle, \\ {}^2B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m2}t - b_1 = 0,47 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle - 0,65 \langle z \cdot l^{-1} \rangle, \\ {}^3B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m3}t - b_1 = 0,22 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle - 0,14 \langle z \cdot l^{-1} \rangle. \end{aligned} \quad (1)$$

Из уравнений видно, что на данном промежутке времени скорости роста (P_m) в варианте с распылителем не различаются ($P_{m1}=P_{m2}$), т.е. добавка глицерина в среде не влияет на продуктивность *T. viridis* и определяется только световыми условиями, связанными с увеличением плотности и коэффициента поглощения света культурой [19].

Сравнивая уравнения для 1 и 3 вариантов опыта, можно видеть, что несмотря на одинаковые скорости подачи воздуха в культуры, скорость роста *T. viridis* более, чем в два раза выше при наличии распылителя. Это связано с тем, что распылитель увеличивает растворимость атмосферного углекислого газа в культуральной среде, а его отсутствие, наоборот, приводит к уменьшению и лимитированию скорости роста культуры углеродом.

На 6 сутки во всех вариантах опыта происходит перелом кривых роста культуры, что указывает на смену лимитирующего фактора, определяющего скорость роста. При этом наблюдается также линейный рост, который для 1–2 варианта заканчивается на 10–11 сутки, а для третьего варианта длится до конца опыта. Количественно эти участки накопительной кривой хорошо ($R_{sq}=0,99$) описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} {}^1B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m1}t + b_1 = 0,12 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle + 1,46 \langle z \cdot l^{-1} \rangle, \\ {}^2B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m2}t + b_1 = 0,12 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle + 1,48 \langle z \cdot l^{-1} \rangle, \\ {}^3B \langle z \cdot l^{-1} \rangle = P_{m3}t + b_1 = 0,08 \langle z \cdot l^{-1} cym^{-1} \rangle t \langle cym \rangle + 0,79 \langle z \cdot l^{-1} \rangle. \end{aligned} \quad (2)$$

Графически отрезки прямых, описываемых этими уравнениями, показаны сплошными линиями на рисунке 1. Как видим, скорость роста на этом участке постоянна, но снизилась почти в 4 раза. Причем в 1 и 2 варианте скорость роста одинакова, т.е. дополнительный органический источник углерода в виде глицерина клетками не используется. Объяснить такую смену лимитирующего фактора со светового на углеродный можно тем, что с ростом плотности снижается удельное обеспечение клеток углеродом.

Третий вариант иллюстрирует смену лимитирования скорости роста общим потоком углерода в культуру при невысокой плотности, на лимитирование скорости удельным потоком углерода в клетку при повышенной плотности культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучен рост черноморской флагелляты *Tetraselmis viridis* в накопительной культуре при различных способах обеспечения клеток углеродом. Добавление углерода в виде глицерина в культуру микроводоросли практически не влияет на ее ростовые и продукционные характеристики ни на стадии светового, ни на стадии углеродного лимитирования роста культуры.
2. Предложена модель в виде линейных сплайнов для описания динамики роста на разных участках накопительной культуры *T. viridis*.
3. Способ подачи углерода в культуру в виде барботажа атмосферным воздухом существенно влияет на скорость роста культуры *Tetraselmis viridis* и связан со скоростью растворения углекислого газа в среде. Которая увеличивается с уменьшением объема пузырьков с помощью обычного аквариумного распылителя. Таким образом, в культуре с распылителем скорость роста выше более чем в 2 раза по сравнению с обычной трубкой при равной скорости подачи воздуха в микроводорослевые культуры.
4. Экспериментально показано, что накопительная культура *T. viridis* может достигать высокой продуктивности ($0,47 \text{ г АСВ} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$) на участке светозависимого линейного роста при отсутствии углеродного лимитирования.
5. Отмечено, что при достижении плотности культуры *Tetraselmis viridis* около $2,1 \text{ г АСВ} \cdot \text{л}^{-1}$ наступает перелом в характере накопительной культуры. Происходит смена фактора, лимитирующего скорость роста. Падение продуктивности почти в 4 раза обусловлено тем, что резко снижается обеспеченность клеток углеродом.
6. Без использования распылителя на конце барботажной трубки переход к лимитированию роста за счет снижения удельной обеспеченности клеток углеродом наступает при плотности культуры около $1,2 \text{ г АСВ} \cdot \text{л}^{-1}$. Продуктивность снижается с $0,22$ до $0,08 \text{ г АСВ} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$.

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

Список литературы

1. Kleivdal H. Industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA rich raw material in fish feed / H. Kleivdal, M. S. Chauton, K. I. Reitan // Basis, knowledge status and possibilities. – 2013. – Bergen: SINTEF. – 88 p.
2. Pulz O. Valuable products from biotechnology of microalgae / O. Pulz, W. Gross // Appl Microbiol Biotechnol. – 2004. – Vol. 65 (6). – P. 635–648.
3. Griffiths M. J. Lipid productivity, settling potential and fatty acid profile of 11 microalgal species grown under nitrogen replete and limited conditions / M. J. Griffiths, R. P. van Hille, S. T. L. Harrison // J. Appl Phycol. – 2012. – Vol. 24. – P. 989–1001.
4. Wenjia Gu. Towards a sustainable supply of omega-3 fatty acids: Screening microalgae for scalable production of eicosapentaenoic acid (EPA) / Gu. Wenjia, John M. Kavanagh, Dale D. McClure. // Algal Research. – 2021 (in press).

5. Bucher H. C. N-3 polyunsaturated fatty acids in coronary heart disease: a meta-analysis of randomized controlled trials / H. C. Bucher, P. Hengstler, C. Schindler, G. Meier. // *Am. J. Med.* – 2002. – Vol. 112(4). – P. 298–304.
6. Whelan J. Dietary stearidonic acid is a long chain (n-3) polyunsaturated fatty acid with potential health benefits / J. Whelan. // *J. Nutr.* – 2009. – Vol. 139(1). – P. 5–10.
7. Ulmann L. Microalgal fatty acids and their implication in health and disease medicinal / L. Ulmann, V. Blanckaert, V. Mimouni, M. X. Andersson, B. Schoefs, B. Chenaïs. // *Chemistry.* – 2017. – Vol. 17. – P. 1112–1123.
8. Guiry M. D. *Algae Base* / M. D. Guiry, G. M. Guiry. – 2019.
9. Роухияйнен М. И. Новый вид рода *Platymonas* (Chlorophyta) из зеленых водорослей. / Новости систематики низших растений / М. И. Роухияйнен. – М.: Наука, 1966. – С. 82–85.
10. Ланская Л. А. Культивирование водорослей / Л. А. Ланская. // *Экологическая физиология морских планктонных водорослей.* – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 5–21.
11. Спекторова Л. В. Морская флагеллята *Platymonas viridis* (Rouch.) как объект для массового культивирования / Л. В. Спекторова. // *Докл. АН СССР.* – 1970. – Т. 192, вып. 3. – С. 662–665.
12. Силкин В. А. Непрерывная культура морской водоросли *Platymonas viridis* / В. А. Силкин, В. Н. Белянин, Л. А. Паутова. // *Биология моря.* – 1977. – Т. 1 – С. 73–77.
13. Тренкеншу Р. П. Плотные культуры морских микроводорослей / Р. П. Тренкеншу, И. А. Терсков, Ф. Я. Сидько. // *Изв. СО АН СССР (серия Биология).* – 1981. – Т. 15, вып. 3. – С. 75–82.
14. Knowless J. A method for the large-scale culture of algae / J. Knowless, L. Edwards. // *Underwater J.* – 1971. – Vol. 3 (3). – P. 163–165.
15. Fon Sing S. Pilot-scale continuous recycling of growth medium for the mass culture of a halotolerant *Tetraselmis* sp. in raceway ponds under increasing salinity: A novel protocol for commercial microalgal biomass production / S. Fon Sing, A. Isdepsky, M. A. Borowitzka, D. M. Lewis // *Bioresour. Technol.* – 2014. – Vol. 161. – P. 47–54.
16. Тренкеншу Р. П. Унифицированная установка для лабораторных исследований микроводорослей / Р. П. Тренкеншу, А. С. Лелеков, А. Б. Боровков, Т. М. Новикова // *Вопросы современной альгологии.* – 2017. – Т. 1, вып. 13.
17. Владимирова М. Г. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М. Г. Владимирова, В. Е. Семененко. – М: АН СССР. – 1962. – 60 с.
18. Лелеков А. С. Моделирование световых кривых фотосинтеза линейными сплайнами / А. С. Лелеков, Р. П. Тренкеншу // *Экология гидросферы.* – 2019. – Т. 2, вып. 4. – С. 20–29.
19. Тренкеншу Р. П. Линейный рост морских микроводорослей в культуре / Р. П. Тренкеншу, А. С. Лелеков, Т. М. Новикова // *Морской биологический журнал.* – 2018. – Т. 3, вып. 1. – С. 53–60.

GROWTH OF *TETRASELMIS VIRIDIS* ROUCH. IN BATCH CULTURE WITH DIFFERENT CARBON SUPPLY

Zhondareva Ya. D., Trenkenshu R. P., Gorbunova S. Yu.

«A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS», Sevastopol, Russia
E-mail: yana.zhondareva@yandex.ru

One of the promising objects for industrial production and practical use can be considered marine unicellular algae of the genus *Tetraselmis* = *Platymonas*. Sustained continuous growth of *Tetraselmis viridis* was obtained in a chemostat on the Pacific water. Based on experiments with elements of mineral nutrition of cells, a nutrient media for *T. viridis* was developed to obtain stable continuous growth of microalgae in dense

culture. Implementation of intensive growth is impossible without sufficient supply of cells with mineral or organic carbon. At the same time, carbon sources should be inexpensive.

In the proposed paper, an assessment of the production characteristics of the microalgae culture of *Tetraselmis viridis* was made using carbon nutrition from the air and glycerol.

The results of an experimental research of growth of the Black Sea flagellate *Tetraselmis* (= *Platymonas*) *viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980, strain IBSS-25 in an algologically pure batch culture under various methods of carbon supply are presented. To describe the growth dynamics in individual areas of growth of culture *T. viridis* the analysis of accumulative curves by the linear spline method was carried out. The coefficients of the equations were found to quantify the differences of growth in different variants of the carbon supply of cells. A model in the form of linear splines is proposed to describe the dynamics of growth in different areas of the batch culture of *T. viridis*. In the experiments, it was not possible to detect a noticeable effect on the growth of the culture of the addition of organic carbon (in the form of glycerol) to the nutrient media, neither at the stage of light, nor at the stage of carbon limitation of culture growth. The method of supplying carbon to the culture in the form of atmospheric air bubbling significantly affects on the growth rate of the culture *T. viridis*, and is associated with the rate of dissolution of carbon dioxide in the media, which increases with a decrease in the volume of bubbles when an aquarium sprayer is used. In culture with a sprayer, the growth rate is more than 2 times higher compared to a conventional tube with a diameter of 2 mm at the same air supply rate to the cultures. It has been shown, batch culture of *T. viridis* can achieve high productivity ($0,47 \text{ g ADW} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) in the area of light-dependent linear growth under the absence of carbon limitation. When a density of culture of about $2,1 \text{ gADW} \cdot \text{l}^{-1}$ is reached, a change occurs in the nature of the batch culture, a change occurs in the factor that limits the growth rate. The drop in productivity by almost 4 times is due to the fact that the specific supply of cells with carbon is sharply reduced. Without the use of a sprayer at the end of the bubble tube, the transition to growth limitation due to a decrease in the specific supply of cells with carbon occurs at a culture density of about $1,2 \text{ gADW} \cdot \text{l}^{-1}$. Productivity decreases from $0,22$ to $0,08 \text{ g ADW} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$.

Keywords: microalgae, *Tetraselmis* (= *Platymonas*) *viridis*, batch culture, growth rate, absolutely dry weight (=ADW), carbon nutrition.

References

1. Kleivdal H., Chauton M. S., Reitan K. I., Industrial production of marine microalgae as a source of EPA and DHA rich raw material in fish feed, *Basis, knowledge status and possibilities*, 88 (Bergen: SINTEF, 2013).
2. Pulz O., Gross W., Valuable products from biotechnology of microalgae, *Appl Microbiol Biotechnol.*, **65**, 635 (2004).
3. Griffiths M. J., van Hille R. P., Harrison S. T. L., Lipid productivity, settling potential and fatty acid profile of 11 microalgal species grown under nitrogen replete and limited conditions, *J. Appl Phycol.*, **24**, 989 (2012).
4. Wenjia Gu., Kavanagh J. M., McClure D. D. Towards a sustainable supply of omega-3 fatty acids: Screening microalgae for scalable production of eicosapentaenoic acid (EPA), *Algal Research* (2021).

5. Bucher H. C., Hengstler P., Schindler C., Meier G. N-3 polyunsaturated fatty acids in coronary heart disease: a meta-analysis of randomized controlled trials, *Am. J. Med.*, **112**, **4**, 298 (2002).
6. Whelan J. Dietary stearidonic acid is a long chain (n-3) polyunsaturated fatty acid with potential health benefits, *J. Nutr.*, **139**, **1**, 5 (2009).
7. Ulmann L., Blanckaert V., Mimouni V., Andersson M. X., Schoefs B., Chenais B. Microalgal fatty acids and their implication in health and disease medicinal, *Chemistry*, **17**, 1112 (2017).
8. Guiry M. D., Guiry G. M., *Algae Base* (2019).
9. Roukhiyainen M. I. A new species of the genus *Platymonas* (Chlorophyta) from green algae, *News of taxonomy of lower plants*, 82 (M.: Science, 1966).
10. Lanskaya L. A. Cultivation of algae, *Ecological physiology of marine planktonic algae*, 5 (Kiev: Scientific thought., 1971).
11. Spektorova L. V. Marine flagellate *Platymonas viridis* (Rouch.) as an object for mass cultivation, *Report Academy of Sciences of the USSR*, **192**, **3**, 662 (1970).
12. Silkin V. A., Belyanin V. N., Pautova L. A. Continuous culture of seaweed *Platymonas viridis*, *Biology of the sea*, **1**, 73 (1977).
13. Trenkenshu R. P., Terskov I. A., Sidko F. Ya. Dense cultures of marine microalgae, *Newsletter Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences (Biology series)*, **15**, **3**, 75 (1981).
14. Knowless J., Edwards L. A method for the large-scale culture of algae, *Underwater J.*, **3**, **3**, 163 (1971).
15. Fon Sing S., Isdepsky A., Borowitzka M. A., Lewis D. M. Pilot-scale continuous recycling of growth medium for the mass culture of a halotolerant *Tetraselmis* sp. in raceway ponds under increasing salinity: A novel protocol for commercial microalgal biomass production, *Bioresour. Technol.*, **161**, 47 (2014).
16. Trenkenshu R. P., Lelekov A. S., Borovkov A. B., Novikova T. M. Unified setup for laboratory research of microalgae, *Issues of Modern Algology*, **1**, 13 (2017).
17. Vladimirova M. G., Semenenko V. E. Intensive culture of unicellular algae, 60 (M: USSR Academy of Sciences, 1962).
18. Lelekov A. S., Trenkenshu R. P. Modeling of light curves of photosynthesis by linear splines, *Ecology of the hydrosphere*, **2**, **4**, 20 (2019).
19. Trenkenshu R. P., Lelekov A. S., Novikova T. M. Linear growth of marine microalgae in culture, *Marine biological journal*, **3**, **1**, 53 (2018).

УДК 612.826.4

МОДУЛИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ АРГИНИН-ВАЗОПРЕССИНА НА НЕЙРОНЫ СУПРАХИАЗМАТИЧЕСКОГО ЯДРА С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СПАЙКОВОЙ АКТИВНОСТИ

Инюшкин А. Н., Исакова Т. С., Инюшкина Е. М., Павленко С. И., Инюшкин А. А.

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева,
Самара, Российская Федерация
E-mail: ainyushkin@mail.ru*

Влияние 20 нМ аргинин-вазопрессина на уровень спайковой активности нейронов супрахиазматического ядра и параметры спайкового кодирования информации изучено на фронтальных срезах гипоталамуса крыс. Численно преобладающий тип реакции на вазопрессин заключался в росте активности нейронов, снижении энтропии распределения межспайковых интервалов, являющейся показателем нерегулярности генерации потенциалов действия, и повышении обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами, отражающей паттернирование спайковой информации. Такие реакции были характерны для нейронов с нерегулярным типом активности, предположительно являющихся вазопрессинергическими, и реже встречались среди нейронов с регулярным и залповым типом активности. Полученные результаты указывают на механизмы синхронизирующего влияния вазопрессина, реализующегося в пределах супрахиазматического ядра.

Ключевые слова: супрахиазматическое ядро, аргинин-вазопрессин, циркадианные ритмы, спайковая активность, спайковое кодирование информации.

ВВЕДЕНИЕ

В организме млекопитающих суточные физиологические, гомеостатические и поведенческие ритмы регулируются циркадианными биологическими часами, расположенными в супрахиазматическом ядре гипоталамуса, нейроны которого генерируют эндогенный околосуточный ритм спайковой активности [1, 2]. Среди пептидергических нейронов супрахиазматического ядра наиболее широко представлены нейроны, продуцирующие аргинин-вазопрессин, при этом их наивысшая концентрация обнаруживается в дорсомедиальном отделе ядра [3]. Известно, что вазопрессинергические нейроны являются основным источником эфферентных проекций супрахиазматического ядра [4], кроме этого, важную функциональную роль играет локальная вазопрессиновая сигнализация. Аксоны многих вазопрессинергических клеток проецируются в пределах супрахиазматического ядра, направляясь в медиальный, дорсальный, латеральный и вентральный отделы ядра [3, 5]. Предполагается, что аргинин-вазопрессин, локально высвобождающийся в супрахиазматическом ядре, играет ведущую роль в синхронизации активности нейронов циркадианного осциллятора [6] и в ГАМК-зависимой регуляции периода его спайковой активности в суточном цикле [7],

однако механизмы синхронизирующего влияния вазопрессина нуждаются в детальном изучении. В этом плане перспективным методическим подходом представляется исследование влияния аргинин-вазопрессина на параметры спайкового кодирования информации нейронами циркадианного осциллятора супрахиазматического ядра.

В нашем предыдущем исследовании продемонстрировано существование ритмических циркадианных изменений важнейших параметров спайкового кодирования информации нейронами супрахиазматического ядра: энтропии распределения межспайковых интервалов, отражающей степень неоднородности их продолжительности, и обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами, являющейся показателем паттернирования спайковой информации [8]. Характерно, что циркадианный ритм изменений параметров спайкового кода в супрахиазматическом ядре проявлялся с более высокой статистической значимостью, чем хорошо известный ритм изменений частоты генерации потенциалов действия. В настоящей работе *in vitro* на переживающих срезах гипоталамуса крыс изучено влияние аппликаций аргинин-вазопрессина на уровень активности и показатели спайкового кодирования информации; кроме этого, впервые проанализированы особенности реакций нейронов супрахиазматического ядра с основными типами спайковой активности на воздействие данного пептида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты выполнены на 28 крысах-самцах Вистар массой тела 80–140 г. в возрасте 4–6 недель. Экспериментальный протокол был согласован с комиссией по биологической этике Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королёва. Животных содержали в условиях свободного доступа к пище и воде при режиме освещения в виде регулярной смены 12-часовых светлых и тёмных периодов.

В начале эксперимента крыс анестезировали уретаном (1.2 г/кг массы тела внутривенно) и декапитировали. Головной мозг извлекали из полости черепа, охлаждали в искусственной цереброспинальной жидкости при температуре 1–3 °С, а затем с помощью вибратора (Series 1000, Horwell Instruments, США) готовили фронтальные срезы гипоталамуса толщиной 300 мкм, включающие супрахиазматическое ядро. Срезы по меньшей мере в течение часа инкубировали в насыщенной кислородом искусственной цереброспинальной жидкости при температуре 37 °С вплоть до начала регистрации. Искусственная цереброспинальная жидкость содержала 124 mM NaCl, 25 mM NaHCO₃, 3 mM KCl, 1,5 mM CaCl₂, 1 mM MgSO₄, 0,5 mM NaH₂PO₄, 10 mM глюкозы. Для регистрации биоэлектрической активности нейронов срезы переносили в перфузионную камеру из органического стекла, смонтированную на антивибрационном столике (Vibraplane, США) для обеспечения стабильности. Срезы перфузировали искусственной цереброспинальной жидкостью с постоянной скоростью 1,5 мл/мин с помощью перистальтической помпы (Minipuls 3, Gilson, Франция). Регистрацию производили при температуре 27–30 °С.

Спайковую активность нейронов супрахиазматического ядра регистрировали внеклеточно с помощью стеклянных микроэлектродов с диаметром кончика около 1 мкм, заполненных искусственной цереброспинальной жидкостью для перфузии среза. Сигнал от микроэлектрода усиливали (Axopatch 200, Axon Instruments, США), устраняли шум частотой 50 Гц (Hum Bug; Quest Scientific, Канада), отцифровывали (Micro 1401, CED, Великобритания) и подавали на персональный компьютер. Визуализацию сигнала, хранение и первичную обработку данных осуществляли с помощью программного пакета Spike 2 (CED, Великобритания).

Учитывая рост процессинга мРНК специфических рецепторов вазопрессина в супрахиазматическом ядре в ночное время суток [9, 10], регистрацию спайковой активности осуществляли в субъективное тёмное время суток (ZT 12-24, момент включения освещения соответствовал ZT 0). С этой целью освещение в виварии было включенным с 22 до 10 часов, а регистрацию активности нейронов осуществляли с 10 до 22 часов. После появления спайковой активности наблюдали за ней в исходном состоянии в течение 10 минут. После этого, при отсутствии видимой тенденции к нарушению постоянства частоты генерации спайков, перфузию меняли на раствор того же состава с добавлением 20 нМ аргинин-вазопрессина на 10 минут, а затем возвращались к исходному раствору для «отмывания» среза от исследуемого вещества. Продолжительность «отмывания» составляла 15 минут. Во избежание возможной десенситизации ткани к аргинин-вазопрессину на каждый срез производилась лишь единственная аппликация пептида.

Первым этапом обработки данных было тщательное выделение всех зарегистрированных спайков из шума и артефактов, которое выполнялось с помощью программы LabSpike [11]. Использование данной программы, в частности, позволяло удостовериться, что источником всех зарегистрированных спайков является один и тот же нейрон. Далее, наряду с расчётом средней частоты генерации спайков, вычисляли два параметра, характеризующих спайковое кодирование информации: энтропию распределения межспайковых интервалов, являющуюся показателем нерегулярности генерации потенциалов действия, и обоюдную информацию между сопряжёнными межспайковыми интервалами, отражающую паттернирование спайковой информации [8, 11–14].

Для выяснения характера и выраженности эффектов аргинин-вазопрессина сравнивали значение параметров спайковой активности в течение двух пятиминутных интервалов времени: в исходном состоянии непосредственно перед аппликацией пептида и в конце периода аппликации. Нейронами, реагирующими на воздействие аргинин-вазопрессина, считались лишь те, у которых частота генерации спайков изменялась под влиянием этого вещества не менее, чем на 20 % от исходной [15]. Далее анализировали исследуемые параметры в течение заключительного пятиминутного периода «отмывания» среза и делали вывод о степени восстановления исходной спайковой активности.

Полученные данные подвергали статистической обработке. Для сравнения значений исследуемых показателей в период действия аргинин-вазопрессина с исходным состоянием использовали парный *t*-тест или ранговый тест Уилкоксона (в

случае несоответствия распределения данных в выборках нормальному). Нормальность распределения проверяли с помощью теста Шапиро-Уилка, однородность дисперсий – с помощью теста Левена. Для сравнения пропорций использовали z-тест. Статистические данные о параметрах спайковой активности нейронов в исходном состоянии представлены как средние арифметические $\pm$ стандартные ошибки среднего. Изменения исследуемых параметров считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего были исследованы реакции на воздействие 20 нМ аргинин-вазопрессина 56 нейронов супрахиазматического ядра. В целом для всей этой группы клеток в исходном состоянии частота генерации потенциалов действия составила $2,90 \pm 0,24 \text{ с}^{-1}$. Энтропия распределения межспайковых интервалов для этих нейронов равнялась $6,42 \pm 0,13$ бит, а обоюдная информация между сопряжёнными межспайковыми интервалами составила $0,064 \pm 0,013$ бит.

У 23 из 56 зарегистрированных нейронов (41,1 %) был выявлен регулярный тип активности. Характерными признаками данного типа активности была высокая частота генерации потенциалов действия ($4,17 \pm 0,30 \text{ с}^{-1}$) в сочетании с коротким межспайковым интервалом. Высокая степень регулярности генерации потенциалов действия нейронами данного типа выражалась, в частности, в минимальном среди всех типов нейронов значении энтропии распределения межспайковых интервалов, которая равнялась $5,56 \pm 0,14$ бит. Обоюдная информация между сопряжёнными межспайковыми интервалами у клеток с регулярной активностью равнялась $0,034 \pm 0,014$ бит, что указывает на низкий уровень паттернирования информации в нейронном коде данных клеток. У 28 из 56 клеток (50,0 %) был зарегистрирован наиболее часто встречающийся нерегулярный тип спайковой активности, который характеризовался непостоянством межспайковых интервалов, короткими периодами высокочастотной активности и редкими непродолжительными паузами, как правило, не превышавшими 10 секунд. Нерегулярная активность отличалась относительно невысоким значением частоты генерации потенциалов действия ($2,21 \pm 0,29 \text{ с}^{-1}$) и умеренно-высоким значением энтропии распределения межспайковых интервалов ($7,03 \pm 0,08$ бит). Обоюдная информация между сопряжёнными межспайковыми интервалами у нейронов с нерегулярной была равна $0,069 \pm 0,019$ бит, что соответствует умеренной степени паттернирования информации в спайковом коде клеток данной популяции. Наконец, у 5 из 56 нейронов (8,9 %) был обнаружен залповый паттерн спайковой активности, который характеризовался чередованием периодов высокочастотной активности (залпов) и продолжительных пауз. Длительность залпов как правило составляла от нескольких секунд до минуты, а межзалповые паузы продолжались от 10-15 секунд до минуты. Наличие таких пауз обусловило низкое значение средней частоты генерации спайков у нейронов данной популяции: $0,95 \pm 0,39 \text{ с}^{-1}$. В противоположность этому, значение обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами у залповых нейронов оказалось наивысшим ($0,170 \pm 0,079$ бит), что указывает на высокую степень паттернирования спайковой информации в

нейронном коде этих клеток. Энтропия распределения межспайковых интервалов в спайковом коде нейронов данной популяции составила $6,92 \pm 0,52$ бит.

Реакции на аппликации 20 нМ аргинин-вазопрессина были выявлены у 29 из 56 исследованных нейронов (51,8 %). Оставшиеся 27 нейронов (48,2 %) не реагировали на воздействие пептида. Численно преобладавшие реакции выражались в повышении средней частоты генерации потенциалов действия. Такие реакции наблюдались у 26 из 56 (46,4 %) зарегистрированных нейронов супрахиазматического ядра. При анализе реакций на воздействие аргинин-вазопрессина этих 26 нейронов было установлено, что под влиянием данного пептида значительно возросла медиана частоты генерации спайков с 1,20 до $2,20 \text{ с}^{-1}$ ($p < 0,001$: ранговый тест Уилкоксона). Другой характерной особенностью реакций этих клеток был статистически значимый рост обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами. Медиана этого параметра с 0,015 бит в исходном состоянии выросла до 0,049 бит в период воздействия аргинин-вазопрессина ($p = 0,046$: ранговый тест Уилкоксона), что указывает на увеличение степени паттернирования информации в спайковом коде. Одновременно с этим в данной группе клеток было обнаружено снижение энтропии распределения межспайковых интервалов, медиана которой уменьшилась с 7,23 до 6,88 бит ($p = 0,013$: ранговый тест Уилкоксона); это свидетельствует о повышении степени регулярности генерации спайков в нейронном коде под влиянием аргинин-вазопрессина. Группа из 26 нейронов, отвечавших на воздействие аргинин-вазопрессина повышением спайковой активности, включала 5 нейронов с регулярной активностью, 18 нейронов с нерегулярной активностью и 3 нейрона с залповой активностью. При этом среди клеток, реагировавших на аппликации аргинин-вазопрессина ростом частоты генерации спайков, доля нейронов с нерегулярной активностью оказалась выше, чем доля нейронов с регулярной $p < 0,001$ (z-тест) и с залповой активностью $p < 0,001$ (z-тест). Характерные примеры реакций спайковой активности на воздействие аргинин-вазопрессина представлены на Рис. 1 и 2.

Степень обратимости реакций спайковой активности на воздействие аргинин-вазопрессина оценивалась путём сравнения значений исследуемых показателей в конце 15-минутного периода «отмывания» среза с исходной активностью. Статистически значимых различий между параметрами спайковой активности в исходном состоянии и после «отмывания» выявить не удалось, что указывает на полное или частичное восстановление исходной активности.



Рис. 1. Пример реакции нейрона супрахиазматического ядра с регулярной активностью на аппликацию 20 нМ аргинин-вазопрессина. Представлены два 50-секундных интервала записи спайковой активности: а – непосредственно перед воздействием, б – в конце 10-минутной аппликации аргинин-вазопрессина.

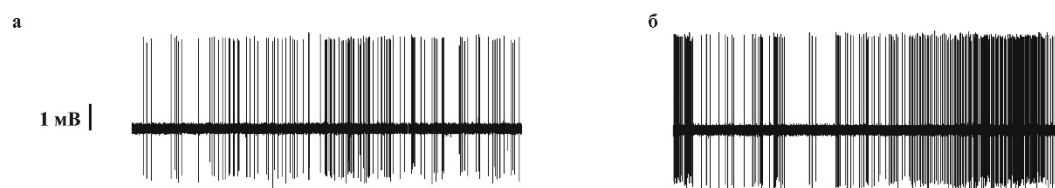


Рис. 2. Пример реакции нейрона супрахиазматического ядра с нерегулярной активностью на аппликацию 20 нМ аргинин-вазопрессина. Представлены два 50-секундных интервала записи спайковой активности: а – непосредственно перед воздействием, б – в конце 10-минутной аппликации аргинин-вазопрессина.

Реакции противоположной направленности в виде снижения средней частоты генерации спайков зарегистрированы лишь у 3 из 56 нейронов (5,4 %), причем все эти нейроны генерировали нерегулярную активность. Статистический анализ, однако, не позволил выявить значимых изменений частоты генерации потенциалов действия под влиянием аргинин-вазопрессина в данной группе клеток. Медиана этого показателя в исходном состоянии составила $2,15 \text{ с}^{-1}$, а при воздействии аргинин-вазопрессина – $1,23 \text{ с}^{-1}$ ($p=0,250$: ранговый тест Уилкоксона). Также не выявлено изменений энтропии распределения межспайковых интервалов, несмотря на тенденцию этого показателя к росту с $6,52 \pm 0,07$ бит до $7,00 \pm 0,19$ бит ($p=0,057$: ранговый тест Уилкоксона). Обоюдная информация между сопряжёнными межспайковыми интервалами также не изменилась ($0,070 \pm 0,047$ бит в исходном состоянии, и $0,091 \pm 0,037$ бит на фоне действия аргинин-вазопрессина; $p=0,170$: ранговый тест Уилкоксона). Отсутствие статистически значимых реакций параметров спайковой активности в данной группе нейронов, по всей видимости, объяснялось её малочисленностью ($n=3$).

У 27 исследованных нейронов существенных изменений уровня спайковой активности после аппликации 20 нМ аргинин-вазопрессина не обнаружено. Статистически значимых изменений частоты генерации потенциалов действия этими клетками не произошло (медиана в исходном состоянии была равна $3,20 \text{ с}^{-1}$, а при воздействии аргинин-вазопрессина – $3,38 \text{ с}^{-1}$; $p=0,057$: ранговый тест Уилкоксона). В этой группе нейронов не выявлено также изменений энтропии распределения межспайковых интервалов, которая до воздействия составляла $6,04 \pm 0,19$ бит, а на фоне действия аргинин-вазопрессина – $6,09 \pm 0,19$ бит ($p=0,482$: парный t-тест). Не изменилось и значение обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами, медиана которой в исходном состоянии равнялась 0,012 бит, а в период действия аргинин-вазопрессина – 0,024 бит ($p=0,196$: ранговый тест Уилкоксона).

Таким образом, количественное соотношение реакций на аппликации 20 нМ аргинин-вазопрессина у нейронов с регулярной активностью ($n=23$) оказалось следующим: рост активности – 5 случаев (21,7 %), отсутствие реакции – 18 случаев (78,3 %), реакций в виде снижения активности не было. При этом доля нейронов, не прореагировавших на воздействие аргинин-вазопрессина, оказалась выше, чем доля

клеток, ответивших на воздействие пептида ростом активности ($p < 0,001$: z-тест). Иными словами, на воздействие аргинин-вазопрессина прореагировало меньшинство нейронов с регулярной активностью. Принципиально иным было количественное соотношение реакций на аргинин-вазопрессин в популяции нейронов с нерегулярной активностью ($n = 28$). В этой группе клеток реакции в виде роста активности зарегистрированы в 18 (64,3 %) случаях, реакции в виде снижения активности – в 3 (10,7 %) случаях, отсутствие реакции – в 7 (25,0 %) случаях, причем реакции в виде роста активности встречались чаще, чем реакции в виде снижения активности ($p < 0,001$: z-тест) и случаи отсутствия реакций ($p = 0,007$: z-тест). Следовательно, на воздействие аргинин-вазопрессина большинство нейронов с нерегулярным паттерном генерации потенциалов действия ответило ростом спайковой активности. В малочисленной популяции нейронов с залповой активностью ($n = 5$) в 3 случаях (60,0 %) наблюдались реакции в виде роста активности, еще в 2 случаях (40,0 %) реакция отсутствовала. При этом статистически значимых различий между встречаемостью реакций в виде роста и снижения активности, а также отсутствием реакции обнаружено не было ($p > 0,05$: z-тест).

Циркадианный ритм спонтанной спайковой активности является важнейшим свойством нейронов супрахиазматического ядра. Установлено, что генетические и молекулярные циклические механизмы нейронов циркадианного осциллятора не только регулируют параметры спайковой активности этих нейронов, но и сами находятся под их регулирующим влиянием [16]. В связи с этим большой интерес представляют данные о характере реакций параметров спайковой активности клеток супрахиазматического ядра на воздействие нейромедиаторов и нейромодуляторов, в том числе, нейропептидов. В нейронах супрахиазматического ядра среди всех нейропептидов наиболее широко представлен аргинин-вазопрессин. В ходе настоящей работы было исследовано влияние аргинин-вазопрессина на спайковую активность и параметры спайкового кодирования информации нейронами супрахиазматического ядра *in vitro*.

Ранее в ряде работ, с использованием техники внеклеточной и внутриклеточной регистрации активности отдельных нейронов супрахиазматического ядра *in vitro*, были получены данные о наличии здесь разнообразных типов спайковой активности: регулярной, нерегулярной, залповой [12, 17–19]. В настоящей работе применялся подход к анализу спайковой активности, в соответствии с которым кроме частоты генерации потенциалов действия оценивались показатели спайкового кодирования информации: энтропия распределения межспайковых интервалов и обоюдная информация между сопряжёнными межспайковыми интервалами. Такой подход оказался полезным в плане количественной оценки нейронного кода, а также идентификации типа активности клеток.

Аппликации аргинин-вазопрессина оказывали влияние на уровень спайковой активности более половины от всех исследованных нейронов супрахиазматического ядра, при этом в подавляющем большинстве случаев наблюдались реакции возбуждения. Эти данные согласуются с гипотезой о том, что на уровне супрахиазматического ядра вазопрессин играет роль локального «усилителя»

циркадианного сигнала, функционирующего по принципу положительной обратной связи [20]. Ранее было продемонстрировано, что нейроны, электрическая активность которых чувствительна к действию вазопрессина, характеризуются повышенной амплитудой циркадианного ритма спонтанной спайковой активности [21]. В настоящем исследовании реакции возбуждения нейронов сопровождались изменениями параметров спайкового кодирования информации: снижением энтропии логарифма распределения межспайковых интервалов, отражающей степень нерегулярности генерации спайков, и ростом обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами, являющейся показателем выраженности спайкового паттерна. Использование энтропии логарифма распределения межспайковых интервалов имеет существенное преимущество перед другими показателями нерегулярности генерации спайков (например, коэффициента вариации или стандартного отклонения среднего межспайкового интервала), т.к. энтропия включает все аспекты вариабельности, чувствительна к форме и модальности распределения межспайковых интервалов [8, 11, 22]. Это особенно важно для характеристики активности супрахиазматического ядра, нейроны которого зачастую демонстрируют бимодальное или полимодальное распределение межспайковых интервалов. Значение обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами возрастает при появлении в спайковом коде повторяющихся устойчивых последовательностей потенциалов действия (дуплетов, триплетов, залпов и др.), что повышает степень паттернирования спайковой информации [22]. Обнаруженные реакции спайкового кодирования информации, по всей видимости, свидетельствуют об изменениях паттерна высвобождения нейротрансмиттеров из дистальных окончаний аксонов исследованных нейронов супрахиазматического ядра в условиях воздействия на них аргинин-вазопрессина.

Статистический анализ показал, что реакции на воздействие вазопрессина в виде возбуждения чаще встречались у нейронов с нерегулярным типом активности. В противоположность этому, у нейронов с регулярной и залповой активностью такой особенности реакций не выявлено, а клетки с регулярной активностью чаще были нечувствительны к аргинин-вазопрессину. Известно, что нерегулярная спайковая активность является характерным электрофизиологическим свойством вазопрессинергических нейронов супрахиазматического ядра [19]. Таким образом, наблюдавшиеся реакции в виде возбуждения у нейронов с нерегулярной активностью могут отражать локальные ауторегуляторные ответы вазопрессинергических клеток этого ядра на воздействие аргинин-вазопрессина. Различие в реакциях популяций нейронов супрахиазматического ядра с разными паттернами спайковой активности предполагает наличие существенных различий в распределении на их мембране специфических вазопрессиновых рецепторов. В супрахиазматическом ядре осуществляется экспрессия V1a- и V1b-рецепторов вазопрессина [23], при этом доминирующим является V1a подтип рецепторов, относительно равномерно распределённый по всему объёму ядра [9, 23]. Данный подтип специфических вазопрессиновых рецепторов обнаружен на мембране клеток супрахиазматического ядра, продуцирующих вазопрессин и вазоактивный

интестинальный пептид [24]. По всей видимости, V1a-рецепторы играют важную роль в механизмах реакций нейронов супрахиазматического ядра на аргинин-вазопрессин, поскольку их мРНК обнаружена в вазопрессинергических нейронах [24], однако, в ауторегуляции активности этих нейронов могут также участвовать рецепторы V1b-подтипа, подобно тому, как это происходит в супраоптическом ядре [23, 25].

Таким образом, результаты настоящего исследования *in vitro* показывают, что аргинин-вазопрессин при непосредственном воздействии способен модулировать уровень активности и оказывать влияние на спайковый код большей части нейронов супрахиазматического ядра. Учитывая обилие локальных проекций вазопрессинергических нейронов, полученные результаты раскрывают электрофизиологические особенности синхронизирующего влияния аргинин-вазопрессина, реализующегося в пределах супрахиазматического ядра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В срезах гипоталамуса крыс-самцов Вистар при внеклеточной регистрации спайковой активности клеток супрахиазматического ядра обнаруживаются нейроны с регулярной, нерегулярной и залповой активностью.
2. Воздействие 20 нМ аргинин-вазопрессина вызывает реакции спайковой активности у более половины зарегистрированных нейронов; при этом в большинстве случаев наблюдаются реакции в виде роста частоты генерации потенциалов действия, снижения энтропии логарифма распределения межспайковых интервалов, отражающей степень нерегулярности генерации спайков, и ростом обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами, являющейся показателем выраженности спайкового паттерна.
3. Реакции на воздействие аргинин-вазопрессина в виде роста частоты генерации потенциалов действия, снижения энтропии логарифма распределения межспайковых интервалов и роста обоюдной информации между сопряжёнными межспайковыми интервалами характерны для нейронов супрахиазматического ядра с нерегулярным типом активности, предположительно являющихся вазопрессинергическими. Полученные результаты указывают на возможные механизмы участия аргинин-вазопрессина в синхронизации нейронной сети циркадианного осциллятора супрахиазматического ядра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-14073.

Список литературы

1. Арушанян Э. Б. Современные представления о роли супрахиазматических ядер гипоталамуса в организации суточного ритмизма физиологических функций / Э. Б. Арушанян, А. В. Попов // Успехи физиол. наук. – 2011. – Т. 42, № 4. – С. 39–58.

2. Hastings M. H. Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus / M. H. Hastings, E. S. Maywood, M. Brancaccio // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2018. – Vol. 19. – P. 453–469.
3. Morin L. P. Complex organization of mouse and rat suprachiasmatic nucleus / L. P. Morin, K. Y. Shivers, J. H. Blanchard, L. Muscat // *Neuroscience* – 2006. – Vol. 137. – P. 1285–1297.
4. Leak R. K. Topographic organization of suprachiasmatic nucleus projection neurons / R. K. Leak, R. Y. Moore // *J. Comp. Neurol.* – 2001. – Vol. 433. – P. 312–334.
5. Moore R. Y. Suprachiasmatic nucleus organization / R. Y. Moore, J. C. Speh, R. K. Leak // *Cell Tissue Res.* – 2002. – Vol. 309. – P. 89–98.
6. Maywood E. S. A diversity of paracrine signals sustains molecular circadian cycling in suprachiasmatic nucleus circuits / E. S. Maywood, J. E. Chesham, J. A. O'Brien, M. H. Hastings // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2011. – Vol. 108. – P. 14306–14311.
7. Maejima T. GABA from vasopressin neurons regulates the time at which suprachiasmatic nucleus molecular clocks enable circadian behavior / T. Maejima, Y. Tsuno, S. Miyazaki, Y. Tsuneoka, E. Hasegawa, M. T. Islam, R. Enoki, T. J. Nakamura, M. Mieda // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2021. – Vol. 118, No 6. – e2010168118.
8. Bhumbra G. S. Rhythmic changes in spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus / G. S. Bhumbra, A. N. Inyushkin, K. Saeb-Parsy, A. Hon, R. E. D. Dyball // *J. Physiol.* – 2005. – Vol. 653. – P. 291–307.
9. Li J. D. Vasopressin receptor V1a regulates circadian rhythms of locomotor activity and expression of clock-controlled genes in the suprachiasmatic nuclei / J. D. Li, K. J. Burton, C. Zhang, S. B. Hu, Q. Y. Zhou // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2009. – Vol. 296. – R824–R830.
10. Young W. S. The diurnal rhythm in vasopressin V1a receptor expression in the suprachiasmatic nucleus is not dependent on vasopressin / W. S. Young, K. Kovacs, S. J. Lolait // *Endocrinology* – 1993. – Vol. 133. – P. 585–590.
11. Bhumbra G. S. Assessment of spike activity in the supraoptic nucleus / G. S. Bhumbra, A. N. Inyushkin, R. E. D. Dyball // *J. Neuroendocrinol.* – 2004. – Vol. 16. – P. 390–397.
12. Инюшкин А. Н. Влияние нейропептида Y на спайковую активность нейронов супрахиазматического ядра крыс in vitro / А. Н. Инюшкин, А. А. Петрова, М. А. Ткачева, Е. М. Инюшкина // *Росс. физиол. ж. им. И. М. Сеченова* – 2015. – Т. 101, № 11. – С. 1257–1269.
13. Inyushkin A. N. Melatonin modulates spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus / A. N. Inyushkin, G. S. Bhumbra, J. A. Gonzalez, R. E. D. Dyball // *J. Neuroendocrinol.* – 2007. – Vol. 19. – P. 671–681.
14. Inyushkin A. N. Leptin modulates spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus / A. N. Inyushkin, G. S. Bhumbra, R. E. D. Dyball // *J. Neuroendocrinol.* – 2009. – Vol. 21. – P. 705–714.
15. Brown T. M. Electrophysiological actions of orexins on rat suprachiasmatic neurons in vitro / T. M. Brown, A. N. Coogan, D. J. Cutler, A. T. Hughes, H. D. Piggins // *Neurosci. Lett.* – 2008. – Vol. 448. – P. 273–278.
16. Colwell C. S. Linking neural activity and molecular oscillations in the SCN / C. S. Colwell // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2011. – Vol. 12. – P. 553–569.
17. Jackson A. C. Mechanism of spontaneous firing in dorsomedial suprachiasmatic nucleus neurons / A. C. Jackson, G. L. Yao, B. P. Bean // *J. Neurosci.* – 2004. – Vol. 24. – P. 7985–7998.
18. Kononenko N. I. Mechanism of irregular firing of suprachiasmatic nucleus neurons in rat hypothalamic slices / N. I. Kononenko, F. E. Dudek // *J. Neurophysiol.* – 2004. – Vol. 91. – P. 267–273.
19. Pennartz C. M. A. Membrane properties and morphology of vasopressin neurons in slices of rat suprachiasmatic nucleus / C. M. A. Pennartz, N. P. A. Bos, M. T. G. De Jeu, A. M. S. Geurtsen, M. Mirmiran, A. A. Sluiter, R. M. Buijs // *J. Neurophysiol.* – 1998. – Vol. 80. – P. 2710–2717.
20. Ingram C. D. Vasopressin neurotransmission and the control of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus / C. D. Ingram, R. Ciobanu, I. L. Coculescu, R. Tanasescu, M. Coculescu, R. Mihai // *Prog. Brain Res.* – 1999. – Vol. 119. – P. 351–364.
21. Ingram C. D. Circadian rhythm of neuronal activity in suprachiasmatic nucleus slices from the vasopressin-deficient Brattleboro rat / C. D. Ingram, R. K. Snowball, R. Mihai // *Neuroscience* – 1996. – Vol. 75. – P. 635–641.
22. Bhumbra G. S. Measuring spike coding in the rat supraoptic nucleus / G. S. Bhumbra, R. E. D. Dyball // *J. Physiol.* – 2003. – Vol. 555. – P. 281–296.

23. Kalamatianos T. Ageing and the diurnal expression of the mRNAs for vasopressin and for the V_{1a} and V_{1b} vasopressin receptors in the suprachiasmatic nucleus of male rats / T. Kalamatianos, I. Kallo, C. W. Coen // *J. Neuroendocrinol.* – 2004. – Vol. 16. – P. 493–501.
24. Young W. S. The diurnal rhythm in vasopressin V_{1a} receptor expression in the suprachiasmatic nucleus is not dependent on vasopressin / W. S. Young, K. Kovacs, S. J. Lolait // *Endocrinology* – 1993. – Vol. 133. – P. 585–590.
25. Hurbin A. The vasopressin receptors colocalize with vasopressin in the magnocellular neurons of the rat supraoptic nucleus and are modulated by water balance / A. Hurbin, H. Orcel, G. Alonso, F. Moos, A. Rabie // *Endocrinology* – 2002. – Vol. 143. – P. 456–466.

MODULATORY EFFECTS OF ARGININE VASOPRESSIN ON NEURONES OF THE SUPRACHIASMATIC NUCLEUS WITH DIFFERENT TYPES OF SPIKE ACTIVITY

Inyushkin A. N., Isakova T. S., Inyushkina E. M., Pavlenko S. I., Inyushkin A. A.

*Samara National Research University, Samara, Russian Federation
E-mail: ainyushkin@mail.ru*

In the experiments on frontal hypothalamic slices of male Wistar rats, the effects of 20 nM arginine vasopressin on the spike activity of the suprachiasmatic nucleus neurons and spike information coding were studied using extracellular recordings. In 23 out of 56 neurones tested (41.1 %), a regular activity was recorded. Regular activity was characterised by high firing frequency, low value of the entropy of the log interspike interval distribution (used as measure of the variability of the interspike interval distribution), and low mutual information between adjacent log intervals (used as an objective measure of patterned activity). In 28 out of 56 neurones tested (50.0 %), non-regular activity was found. Non-regular activity was characterised by a variability of interspike intervals and pauses in spike generation lasted up to 10 seconds. The units generating non-regular activity displayed a moderate firing frequency, entropy of the log interspike interval distribution and mutual information between adjacent log intervals. Finally, in 5 out of 56 neurones tested, bursting activity was recorded. Such type of activity was characterised by alternation of high-frequency bursts, lasted from a few seconds to 1 minute, and long pauses (from 10–15 seconds to 1 minute). The units generating non-regular activity displayed a low value of the mean firing frequency alone with high value of mutual information between adjacent log intervals and respectively high value of the entropy of the log interspike interval distribution.

Application of arginine vasopressin into the perfusion solution induced changes of spike activity in 29 out of 56 neurones tested; the remaining 27 neurones (48.2 %) did not respond to arginine vasopressin. The most frequent effect of arginine vasopressin consisted of an increase in the mean spike frequency alone with a reduction of the entropy of the log interspike interval distribution and an increase in mutual information between adjacent log intervals. Such effect was recorded in 26 out of 56 (46,4 %) cells tested. This group of the neurones included 18 cells with non-regular activity, 5 cells with regular activity and 3 cells with bursting activity, and the proportion of neurones with non-regular

activity was significantly higher than regular or bursting cells ($p < 0.001$: z-тест). The opposite effect of arginine vasopressin (a decrease in the mean spike frequency) was observed just in 3 out of 56 suprachiasmatic neurones tested, and all the three neurones had non-regular activity.

Thus, in the group of neurones with non-regular activity, the proportion of cells displaying excitatory responses to arginine vasopressin (18 cells) was significantly higher than the proportion of cells displaying inhibitory responses (3 cells; $p < 0.001$: z-тест) or non-responsive cells (7 cells; $p = 0.007$: z-тест). By contrast, in the group of neurones with regular activity, the proportion of non-responsive cells (18 cells) was significantly higher ($p < 0.001$: z-тест) than the proportion of cells displayed excitatory responses (5 cells). There were no cells with regular activity displayed inhibitory responses to the application of arginine vasopressin. In the group of 5 neurones with bursting activity, 3 cells displayed excitatory responses and 2 additional cells did not respond to arginine vasopressin (the difference between the proportions of the responses is not significant: $p > 0.05$: z-тест).

Since non-regular spike activity is characteristic for vasopressinergic neurons of the suprachiasmatic nucleus, the data obtained show possible mechanisms of the involvement of arginine vasopressin in the synchronisation within the network generating circadian rhythmicity.

Keywords: suprachiasmatic nucleus, arginine vasopressin, circadian rhythms, spike activity, spike information coding.

References

1. Arushanyan E. B., Popov A. V. Recent data about the role of hypothalamic suprachiasmatic nucleus in circadian organization of physiological functions, *Progr. Physiol. Sci.*, **42**, 4 (2011).
2. Hastings M. H., Maywood E. S., Brancaccio M. Generation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus, *Nat. Rev. Neurosci.*, **19** (2018).
3. Morin L. P., Shivers K. Y., Blanchard J. H., Muscat L. Complex organization of mouse and rat suprachiasmatic nucleus, *Neuroscience*, **137** (2006).
4. Leak R. K., Moore R. Y. Topographic organization of suprachiasmatic nucleus projection neurons, *J. Comp. Neurol.*, **433** (2001).
5. Moore R. Y., Speh J. C., Leak R. K. Suprachiasmatic nucleus organization, *Cell Tissue Res.*, **309** (2002).
6. Maywood E. S., Chesham J. E., O'Brien J. A., Hastings M. H. A diversity of paracrine signals sustains molecular circadian cycling in suprachiasmatic nucleus circuits, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **108** (2011).
7. Maejima T., Tsuno Y., Miyazaki S. [et al.] GABA from vasopressin neurons regulates the time at which suprachiasmatic nucleus molecular clocks enable circadian behavior, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **118**, 6 (2021).
8. Bhumbra G. S., Inyushkin A. N., Saeb-Parsy K., Hon A., Dyball R. E. D. Rhythmic changes in spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus, *J. Physiol.*, **653** (2005).
9. Li J. D., Burton K. J., Zhang C., Hu S. B., Zhou Q. Y. Vasopressin receptor V1a regulates circadian rhythms of locomotor activity and expression of clock-controlled genes in the suprachiasmatic nuclei, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, **296** (2009).
10. Young W. S., Kovacs K., Lolait S. J. The diurnal rhythm in vasopressin V1a receptor expression in the suprachiasmatic nucleus is not dependent on vasopressin, *Endocrinology*, **133** (1993).
11. Bhumbra G. S., Inyushkin A. N., Dyball R. E. D. Assessment of spike activity in the supraoptic nucleus, *J. Neuroendocrinol.*, **16** (2004).
12. Inyushkin A. N., Petrova A. A., Tkacheva M. A., Inyushkina E. M. The effect of neuropeptide Y on spike activity of neurons in the suprachiasmatic nucleus of rat in vitro, *Russian Physiol. I. M. Sechenov Journal*, **101**, 11 (2015).

13. Inyushkin A. N., Bhumbra G. S., Gonzalez J. A., Dyball R. E. D. Melatonin modulates spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus, *J. Neuroendocrinol.*, **19** (2007).
14. Inyushkin A. N., Bhumbra G. S., Dyball R. E. D. Leptin modulates spike coding in the rat suprachiasmatic nucleus, *J. Neuroendocrinol.*, **21** (2009).
15. Brown T. M., Coogan A. N., Cutler D. J., Hughes A. T., Piggins H. D. Electrophysiological actions of orexins on rat suprachiasmatic neurons in vitro, *Neurosci. Lett.*, **448** (2008).
16. Colwell C. S. Linking neural activity and molecular oscillations in the SCN, *Nat. Rev. Neurosci.*, **12** (2011).
17. Jackson A. C., Yao G. L., Bean B. P. Mechanism of spontaneous firing in dorsomedial suprachiasmatic nucleus neurons, *J. Neurosci.*, **24** (2004).
18. Kononenko N. I., Dudek F. E. Mechanism of irregular firing of suprachiasmatic nucleus neurons in rat hypothalamic slices, *J. Neurophysiol.*, **91** (2004).
19. Pennartz C. M. A., Bos N. P. A., De Jeu M. T. G. [et al.] Membrane properties and morphology of vasopressin neurons in slices of rat suprachiasmatic nucleus, *J. Neurophysiol.*, **80** (1998).
20. Ingram C. D., Ciobanu R., Coculescu I. L. [et al.] Vasopressin neurotransmission and the control of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus, *Prog. Brain Res.*, **119** (1999).
21. Ingram C. D., Snowball R. K., Mihai R. Circadian rhythm of neuronal activity in suprachiasmatic nucleus slices from the vasopressin-deficient Brattleboro rat, *Neuroscience*, **75** (1996).
22. Bhumbra G. S., Dyball R. E. D. Measuring spike coding in the rat supraoptic nucleus, *J. Physiol.*, **555** (2003).
23. Kalamatianos T., Kallo I., Coen C. W. Ageing and the diurnal expression of the mRNAs for vasopressin and for the V_{1a} and V_{1b} vasopressin receptors in the suprachiasmatic nucleus of male rats, *J. Neuroendocrinol.*, **16** (2004).
24. Young W. S., Kovacs K., Lolait S. J. The diurnal rhythm in vasopressin V_{1a} receptor expression in the suprachiasmatic nucleus is not dependent on vasopressin, *Endocrinology*, **133** (1993).
25. Hurbin A., Orcel H., Alonso G., Moos F., Rabie A. The vasopressin receptors colocalize with vasopressin in the magnocellular neurons of the rat supraoptic nucleus and are modulated by water balance, *Endocrinology*, **143** (2002).

УДК 582.288:551.510.42

АЭРОПАЛИНОМОНИТОРИНГ СПОР ГРИБОВ РОДА CLADOSPORIUM И ALTERNARIA В Г. КРАСНОДАРЕ В ДИНАМИКЕ 4X ЛЕТ (2018–2021 ГГ)

**Клименко Я. В., Павлюченко И. И., Мороз А. Н., Голубцова Г. А.,
Прозоровская Ю. И., Костюшок Н. Я.**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ, Краснодар, Россия
E-mail: yana.klimenk@mail.ru**

Споры микроскопических плесневых грибов являются одними из основных факторов развития поллинозов и других atopических заболеваний, имеющих мультифакторную природу. В период с 05 апреля 2018 г. по 31 ноября 2021 г. проводился аэропалинологический мониторинг воздушного спектра г. Краснодара. Анализировались споры грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria*. Основная концентрация спор данных микромицетов в 2018 г. пришлась на третью декаду апреля по первую декаду ноября; в 2019 г. – со второй декады апреля по первую декаду ноября; в 2020 г. – с первой декады мая по вторую декаду ноября; в 2021 г. – с первой декады апреля по вторую декаду ноября. В 2021 г. отмечено максимальное процентное содержание *Cladosporium* – 94 %, род *Alternaria* превалировал в 2018 г. – 11 %. Отмечается ежегодная тенденция количественного увеличения спор грибов в атмосфере городской среды наблюдаемого региона.

Ключевые слова: аэропалинология, споры грибов, кладоспориум, альтернэрия, поллиноз, аллергические заболевания, микромицеты, сенсibilизация, аэропалиномониторинг, волюметрический пылеуловитель VPPS 2000 «Lanzoni».

ВВЕДЕНИЕ

Микроскопические плесневые грибы выступают в качестве аэроаллергенов наряду с пылью растений, являясь фактором возникновения и развития аллергических заболеваний у сенсibilизированных к ним лиц. Споры грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria* наиболее часто встречающейся аэроаллерген на территориях с умеренным климатом. Количественно споры грибов преобладают над пылью растений, в среднем в 100–1000 раз [1, 2].

Важно отметить, что данная микроскопическая плесень способна оказывать сильное воздействие на иммунную систему. За счет своих малых размеров, споры могут глубоко проникать в респираторный тракт, и путем воздействия ферментов и токсинов, приводить к развитию аллергического ринита, синусита, бронхиальной астме, гиперсенситивного пневмонита, хронической обструктивной болезни легких и других коморбидных состояний, имеющих мультифакторную природу [2, 3].

В настоящее время особое значение приобретают исследования, связанные с оценкой состояния урбанизированной среды, насыщенной разнообразными источниками загрязнения. Биомониторинг является важнейшей составной частью экологического мониторинга природной среды. Дополнение объективной информации химического и физико-химического контроля данными

биомониторинга необходимо для объективной оценки экологической ситуации в современном городе и проведения его экологического зонирования. Преимуществами метода являются быстрота выполнения опытов и возможность скрининга большого объема проб. В качестве объектов для биомониторинга могут быть использованы пыльцевые зерна древесных и травянистых растений, а также споры грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria*. [4]

Постоянный мониторинг за количественным составом микромицетов в воздушном спектре позволит людям, страдающим поллинозом, а также органам здравоохранения, своевременно предпринять профилактические и лечебные мероприятия, тем самым снизив риск проявления данной группы заболеваний. В связи с этим актуальным является проведение аэропалинологических исследований в различных регионах страны.

Цель работы – изучение воздушного спектра г. Краснодара на наличие и количественный состав спор грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria* в динамике 4х лет (2018–2021гг), определение интенсивности спороношения в атмосфере воздуха и максимальной концентрации данных микромицетов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Аэропалинологический мониторинг проводился с 05 апреля 2018 по 20 ноября 2021 – в характерный для данного региона период регистрации споро-пыльцевого спектра. Споры грибов улавливали при помощи волюметрического пыльцеуловителя VPPS 2000 «Lanzoni» (Италия), установленного в центральной части города на высоте 12,5 м от уровня земли, в соответствии с инструктивными данными. Идентификация пыльцы проводилась при помощи светового биологического микроскопа Meiji Techno (Япония) серии MT5300L и комплекса аппаратно-программной визуализации «VISION BIO ANALISE» (Австрия) с фото- и видео- фиксацией. Было проведено исследование 992 микропрепаратов 12 непрерывными транссектами, расположенными вертикально, с расстоянием в 4 мм. Расчет абсолютного содержания пыльцевых зерен проводился в соответствии с рекомендациями Мейер-Меликян [5, 6].

Результаты ежедневного анализа спор грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria* в атмосфере воздуха регистрировались в сводных таблицах. Для подсчета и построения графиков и диаграмм использовали программу «Microsoft Excel 2010».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Споры грибов рода *Cladosporium* количественно преобладали в воздушном спектре г. Краснодара за исследуемый период – в среднем в соотношении 9:1 к спорам грибов рода *Alternaria* (рис. 1).

Суммарное содержание спор рода *Cladosporium* колебалось в течении 4х годовичного мониторинга от 89 % до 94 %. В то время, как концентрация спор грибов рода *Alternaria* составляла 6–11 %.

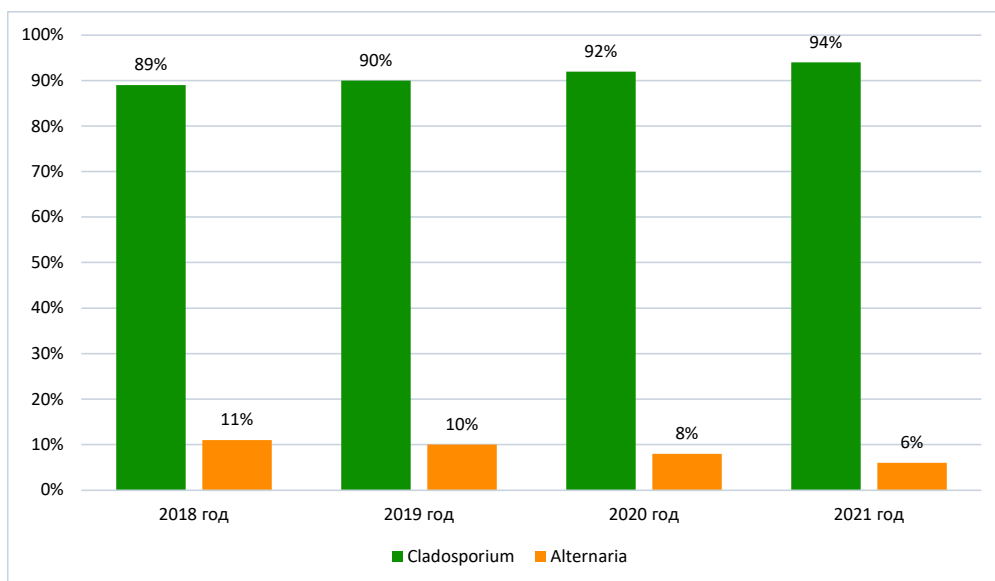


Рис. 1. Удельный вес спор грибов в г. Краснодаре за 2018–2021 гг.

По результатам исследования были так же сформированы посуточные графики концентрации спор грибов в динамике 4х лет (рис. 2–5).

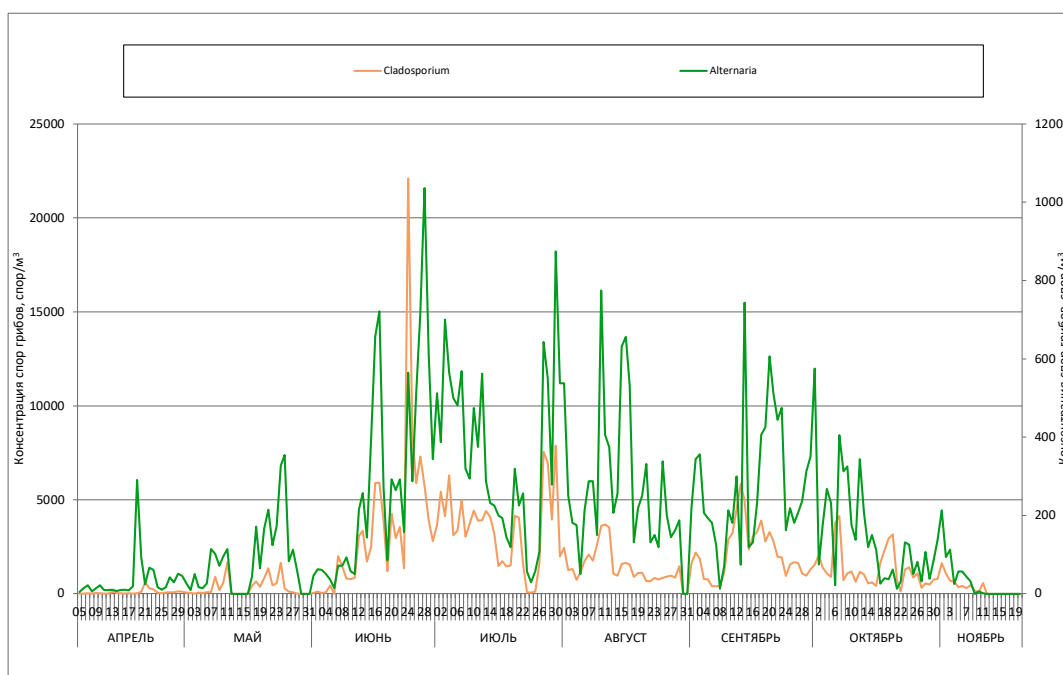


Рис. 2. Концентрация спор грибов в г. Краснодаре за 2018 г.

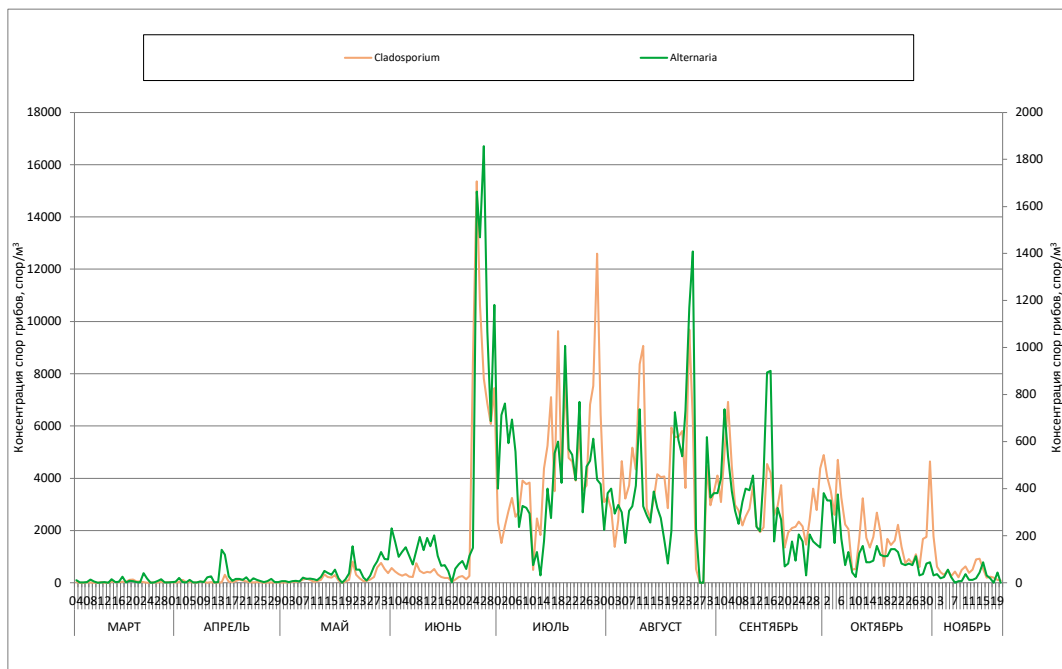


Рис. 3. Концентрация спор грибов в г. Краснодаре за 2019 г.

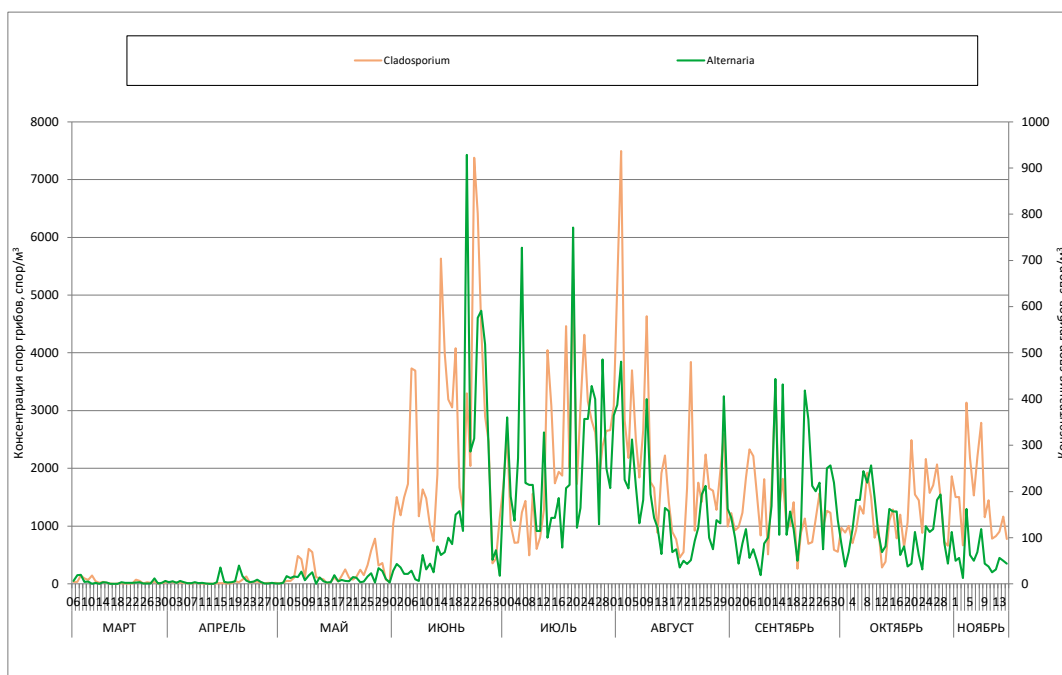


Рис. 4. Концентрация спор грибов в г. Краснодаре за 2020 г.

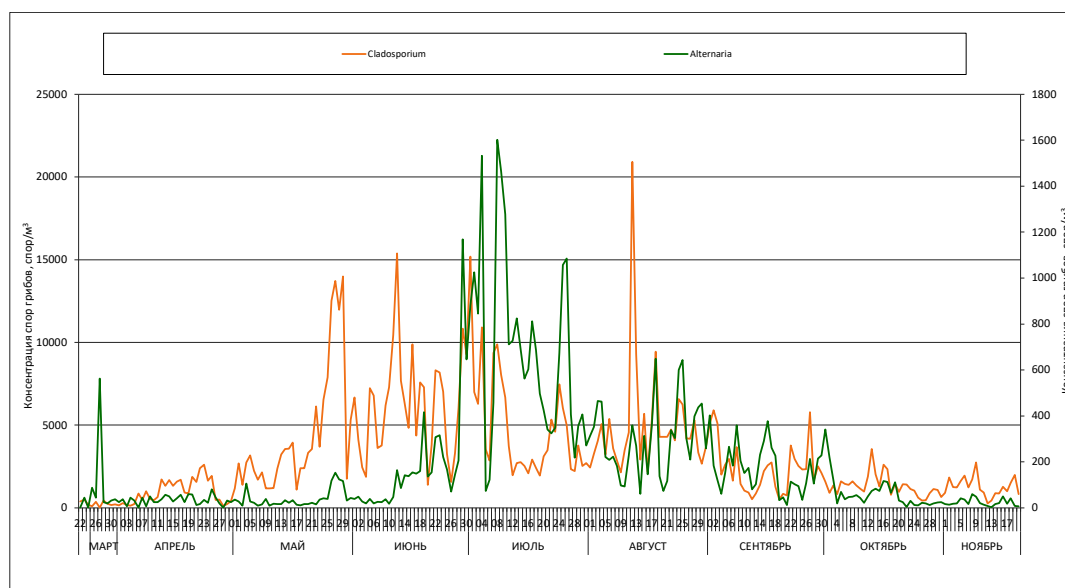


Рис. 5. Концентрация спор грибов в г. Краснодаре за 2021 г.

Установлено, в 2018 г. основной период спороношения наблюдался с конца апреля по ноябрь. Первый пик концентрации *Cladosporium*, превышающий 1000 спор/м³ был зафиксирован 11 мая (1653,60 спор/м³), а первый пик концентрации *Alternaria*, превышающий 100 спор/м³ (290,55 спор/м³) установлен 19 апреля. В течение сезона спороношение происходило многократно. Максимальная среднемесячная концентрация спор грибов пришлась на июль и составила для рода *Cladosporium* 3474,60 спор/м³ и рода *Alternaria* – 357,14 спор/м³.

В 2019 г. основной период спороношения наблюдается с середины апреля по ноябрь. Первый пик концентрации *Cladosporium*, превышающий 1000 спор/м³, был зафиксирован 24 июня (8473,08 спор/м³). Первый пик концентрации *Alternaria*, превышающий 100 спор/м³ (140,40 спор/м³) обнаружен 14 апреля. В течение сезона спороношение происходило многократно. Максимальная среднемесячная концентрация спор грибов пришлась на июль и составила для рода *Cladosporium* 4449,38 спор/м³ и рода *Alternaria* – 448,05 спор/м³.

Основной период спороношения в 2020 г. наблюдается с начала мая по середину ноября. Максимальная среднемесячная концентрация спор грибов рода *Cladosporium* и *Alternaria* составляла 2534,89 спор/м³ и 264,24 спор/м³ соответственно. Первый пик концентрации спор грибов рода *Cladosporium* превышающий 1000 спор/м³ зафиксирован 01 июня (1035,30 спор/м³), для рода *Alternaria* первый пик концентрации, превышающий 100 спор/м³ – 18 июня и составил 149,90 спор/м³. Максимальный пик пыления пришелся на 02 августа для рода *Cladosporium* – 7493,80 спор/м³, *Alternaria* – 21 июня (928,20 спор/м³).

В 2021 г. основной период спороношения наблюдался с начала апреля по середину ноября. Первый пик концентрации *Cladosporium*, превышающий 1000 спор/м³ был зафиксирован 8 апреля (1006,25 спор/м³), а 4 мая – первый пик концентрации *Alternaria*, превышающий 100 спор/м³ (105 спор/м³). В течение сезона спороношение происходило многократно. Максимальная среднемесячная концентрация спор грибов рода *Cladosporium* пришлась на июнь и составила 6219,83 спор/м³, а рода *Alternaria* – в июле и 687,21 спор/м³ соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследуемый период (2018–2021 гг.) в воздушном спектре г. Краснодара споры грибов определялись в течении всего анализируемого периода и характеризовались высоким концентрационным содержанием. Необходимо отметить ежегодную тенденцию количественного увеличения спор микромицетов в атмосфере наблюдаемого региона (г. Краснодар). Это диктует необходимость продолжения проведения аэропалеологического мониторинга спор грибов в данном регионе и своевременное информирование населения и специалистов об изменяющейся экологической обстановке.

Список литературы

1. Рыжкин Д. В. Мониторинг концентрации спор грибов *Cladosporium* и *Alternaria* в атмосферном воздухе г. Москвы / Д. В. Рыжкин, С. Н. Еланский, Т. М. Желтикова // Лекарственный вестник. – 2002. – № 2. – С. 51–52.
2. Антонов В. Б. Микогенные аллергии в городской экосистеме: эпидемиология, клиника, лечение / В. Б. Антонов // Вестник Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 77–81.
3. Ширяева Д. М. Экологические аспекты поллинозов. Обзор литературы / Д. М. Ширяева, Н. В. Минаева, Л. В. Новоселова // Экология человека. – 2016. – № 12. – С. 3–10. – DOI 10.33396/1728-0869-2016-12-3-10.
4. Бурак И. И. Экологическая медицина: пособие. В 2 ч. Ч. 1 / И. И. Бурак, С. В. Григорьева, Н. И. Миклис [и др.] – Витебск: ВГМУ, 2018. – 189 с.
5. Клименко Я. В. Аэропалеомониторинг города Краснодара пыльцеулавливающей ловушкой Ланзони VPPS 2000, как принципиально новый подход в исследовании пыления аллергенных растений / Я. В. Клименко, Е. П. Новикова, Н. О. Мильченко [и др.] // Наука и инновации – современные концепции : Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 20 декабря 2019 года / отв. ред. Хисматуллин Д. Р. – Москва: Инфинити, 2019. – С. 81–86.
6. Мейер-Меликян Н. Р. Принципы и методы аэропалеологических исследований / Н. Р. Мейер-Меликян, Е. Э. Северова, Г. П. Гапочка [и др.] – Москва: МГУ, 1999. – 48 с.

**AEROPALINOMONITORING OF FUNGAL SPORES OF THE GENUS
CLADOSPORIUM AND ALTERNARIA IN KRASNODAR IN THE DYNAMICS
OF 4 YEARS (2018–2021)**

*Klimenko Ya. V., Pavlyuchenko I. I., Moroz A. N., Golubtsova G. A.,
Prozorovskaya Yu. I., Kosciuszok N. Ya.*

*Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia
E-mail: yana.klimenk@mail.ru*

Microscopic mold fungi spores are one of the main factors in the development of pollinosis and other atopic diseases of a multifactorial nature. Constant monitoring of the quantitative composition of micromycetes in the air spectrum will allow people suffering from pollinosis, as well as health authorities, to take preventive and curative measures in a timely manner, thereby reducing the risk of allergic diseases. In this regard, it is relevant to conduct aeropalinalological research in various regions of the country.

In the period from April 05, 2018 to November 31, 2021, an aeropalinalological study of the air spectrum of Krasnodar was conducted. Spores of fungi of the genus *Cladosporium* and *Alternaria* were analyzed.

It was found that the spores of fungi of the genus *Cladosporium* quantitatively prevailed in the air spectrum of Krasnodar during the study period – on average in a ratio of 9:1 to the spores of fungi of the genus *Alternaria*. The total content of spores of the genus *Cladosporium* fluctuated during 4-year monitoring from 89 % to 94 %. While the concentration of spores of fungi of the genus *Alternaria* was 6–11 %.

In 2018, the main period of sporulation was observed from the end of April to November. The first peak of *Cladosporium* concentration exceeding 1000 spores/m³ was recorded on May 11 (1653,60 spores/m³), and on April 19 – the first peak of *Alternaria* concentration exceeding 100 spores/m³ (290,55 spores/m³). Sporulation occurred multiple times during the season. The maximum average monthly concentration of fungal spores occurred in July and amounted to 3474,60 spores/m³ for the genus *Cladosporium* and 357,14 spores/m³ for the genus *Alternaria*.

In 2019, the main period of sporulation is observed from mid – April to November. The first peak of *Cladosporium* concentration exceeding 1000 spores/m³ was recorded on June 24 (8473,08 spores/m³), and on April 14 – the first peak of *Alternaria* concentration exceeding 100 spores/m³ (140,40 spores/m³). Sporulation occurred multiple times during the season. The maximum average monthly concentration of fungal spores occurred in July and amounted to 4449,38 spores/m³ for the genus *Cladosporium* and 448,05 spores/m³ for the genus *Alternaria*.

The main period of sporulation in 2020 is observed from the beginning of May to the middle of November. The maximum monthly average concentration of spores of fungi of the genus *Cladosporium* and *Alternaria* is 2534,89 spores/m³ and 264,24 spores/m³, respectively. The first peak of the concentration of spores of fungi of the genus *Cladosporium* exceeding 1000 spores/m³ was recorded on June 01 (1035,30 spores/m³), for the genus *Alternaria*, the first peak of concentration exceeding 100 spores/m³ was on June 18 and amounted to 149,90 spores/m³. The maximum peak of dusting occurred on

August 02 for the genus *Cladosporium* – 7493,80 spores/m³, *Alternaria* – on June 21 (928,20 spores/m³).

In 2021, the main sporulation period was observed from early April to mid – November. The first peak of *Cladosporium* concentration exceeding 1000 spores/m³ was recorded on April 8 (1006,25 spores/m³), and on May 4 – the first peak of *Alternaria* concentration exceeding 100 spores/m³ (105 spores/m³). Sporulation occurred multiple times during the season. The maximum average monthly concentration of fungal spores of the genus *Cladosporium* occurred in June and amounted to 6219,83 spores/m³, and the genus *Alternaria* – in July and 687,21 spores/m³, respectively.

There is an annual trend of quantitative increase of fungal spores in the atmosphere of the city.

Keywords: aeropalinology, fungal spores, *cladosporium*, *alternaria*, pollinosis, allergic diseases, micromycetes, sensibilization, aeropalinomonitoring, volumetric pollen collector VPPS 2000 "Lanzoni".

References

1. Ryzhkin D. V., Elansky S. N., Zheltikova S. N. Monitoring of the concentration of spores of *Cladosporium* and *Alternaria* in the air, Moscow, *Pharmaceutical journal*, **2**, 51 (2002).
2. Antonov V. B. Mycogenic Allergy in an urban ecosystem: epidemiology, clinical features, treatment, *Vestnik of the St. Petersburg medical Academy of postgraduate education*, **4**, 77 (2010).
3. Shiryayeva D. M., Minaeva N. V., Novoselova L. V. Ecological aspects of pollinosis. Literature review, *Human ecology*, **12**, 3 (2016). DOI 10.33396/1728-0869-2016-12-3-10.
4. Burak I. I., Grigorieva S. V., Miklis N. I. and Cherkasova O. A. *Ecological medicine: a manual. At 2 h. h.* **1**, 189 p. (VSMU, Vitebsk, 2018).
5. Klimenko Ya. V., Novikova E. P., Milchenko N. O., Moroz A. N., Pavlyuchenco I. I. Aeropalimonitoring of the city of Krasnodar with a Lanzoni pollen trap VPPS 2000, as a fundamentally new approach in the study of pollination of allergenic plants, *Science and innovation – modern concepts: A collection of scientific articles on the results of the International Scientific Forum* (Infiniti, Moscow, 2019), p. 81.
6. Meyer-Melikyan N. R., Severova E. E., Gapochka G. P., Polevova S. V., Tokarev P. I., Bovina I. Y. *Principles and methods of aeropalinological research*, 48 p. (MSU, Moscow, 1999).

УДК 594 (262.5)

МОЛЛЮСКИ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)

Ковалева М. А., Макаров М. В.

**ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,
Россия
E-mail: kovalmargarita@mail.ru**

В работе представлены современные данные по видовому составу, численности, биомассе, встречаемости, распределению и трофической принадлежности моллюсков, собранных в прибрежной (0–5 м) южной части Каркинитского залива летом 2018 г. Всего обнаружено 23 вида Mollusca (Bivalvia – 13, Gastropoda – 9, Polyplacophora – 1). Большинство видов представлено ювенильными экземплярами. Только в поселениях *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791), *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) и некоторых Gastropoda отмечены разноразмерные и половозрелые особи. Анализ горизонтального распределения видового состава моллюсков показал, что наиболее схожие виды обитают во внутренней и внешней акваториях района Лебяжьих островов и устья реки Самарчик. Средние численность и биомасса моллюсков составили 1375 ± 65 экз. м⁻² и 78 ± 4 г м⁻² соответственно. Максимальная численность (1833 экз. м⁻²) отмечена в акватории заповедника «Лебяжий острова». Наибольшая биомасса – в районе Бакальской косы ($95,3$ г м⁻²) и Лебяжьих островов ($93,7$ г м⁻²). Анализ вертикального распределения моллюсков показал, что зависимости средней численности особей от изменения глубины не выявлено, средняя биомасса с увеличением глубины повышалась. Выделено 6 трофических групп с явным преобладанием по всем показателям, особенно по биомассе, сестонофагов (индекс однообразия пищевой структуры – 0,7).

Ключевые слова: таксоцен, состав, распределение, структура, численность, биомасса, соленость.

ВВЕДЕНИЕ

Каркинитский залив является уникальным природным водоемом и одним из самых крупных заливов Черного моря, длина которого достигает 140 км, максимальна ширина – 130 км, а глубина – 45 м [1]. Он расположен между северо-западным побережьем Крымского полуострова и югом Херсонской области Украины. Бакальская коса и Бакальская банка делят залив на западную часть с песчаными относительно ровными берегами со свободным водообменом с морем и восточную часть, относительно замкнутую и изрезанную многочисленными заливами с глинистыми расчлененными берегами. Дно представляет собой песок, ил и ракушу. Температура воды летом составляет в среднем 27 °С, зимой – около 0 °С [2–6].

Природные комплексы Каркинитского залива характеризуются высоким ландшафтным, биологическим и промысловым разнообразием. В этой акватории находятся охраняемые районы: государственный природный заповедник Лебяжий острова, ландшафтно-рекреационный парк регионального значения, включающий

Бакальскую косу, озеро Бакал и прибрежный аквальный комплекс, где сосредоточены ценнейшие бальнеологические ресурсы. Однако Каркинитский залив – это и район возрастающего антропогенного воздействия. В его акваторию сливаются сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, ведется добыча песка, а также здесь находится самое крупное из освоенных месторождений газа на шельфе Черного моря – Голицынское [4]. Эта акватория примечательна еще и тем, что здесь происходили изменения солености в связи сначала с отсутствием, потом деятельностью, а затем и прекращением функционирования (с осени 2013 г.) Северо-Крымского канала. Каркинитский залив является исследовательским полигоном для специалистов из различных областей. Изучали здесь и малакофауну, но, в основном, в глубоководной части [7–9]. Таким образом, получение новых мониторинговых данных в прибрежной акватории является актуальным.

Цель данной работы – исследовать современный качественный и количественный состав Mollusca в прибрежной части Каркинитского залива.

Задачи: изучить видовой состав, численность, биомассу и встречаемость моллюсков; проанализировать их горизонтальное и вертикальное распределение; оценить трофическую принадлежность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал собирали в августе 2018 г. в прибрежной южной части Каркинитского залива от Бакальской косы на западе до Красноперекопского залива на востоке (рис. 1).

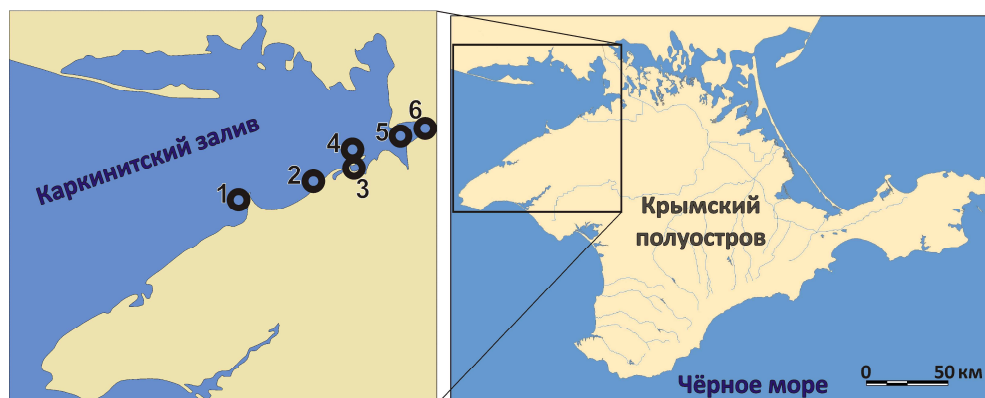


Рис. 1. Места отбора проб в акватории Каркинитского залива (разрезы: 1 – Бакальская коса, 2 – акватория у села Огни, 3 – Лебяжьи острова (внутренняя часть архипелага), 4 – Лебяжьи острова (внешняя часть архипелага), 5 – Красноперекопский залив (устье реки Самарчик), 6 – Красноперекопский залив (вершина).

Всего взято 50 количественных и 5 качественных проб в диапазоне глубин 0–5 м на песчано-илистых грунтах. Выполнено 25 бентосных станций (по 2 пробы

на каждой станции) на 6 разрезах, расположенных перпендикулярно берегу. Орудием сбора был ручной дночерпатель площадью 0,04 м². Пробы промывали через мешок из мельничного газа с диаметром ячеи 0,5 мм и фиксировали 4 % нейтрализованным формалином. В лабораторных условиях моллюсков определяли по [10–12]. Таксономическая принадлежность представлена в соответствии с базой данных WoRMS: <http://www.marinespecies.org> [13]. Подсчитывали количество особей (экз.), мелкие экземпляры взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,001 г, крупные – на весах “Sartorius” до 0,1 г, затем рассчитывали численность и биомассу на м². Определяли встречаемость видов (% станций, на которых встретился каждый вид, от общего количества станций) и структуру таксоцены по встречаемости [14]. Средние значения в работе представлены с доверительным интервалом ($p=0,05$). Для определения размерной структуры митилистера использовано 407 особей. Соленость воды (‰) измеряли соленомером “Sension 5”. При выделении трофических групп использовали литературные данные [12, 15]. Для оценки степени сложности трофических взаимодействий в таксоцене применили индекс однообразия его пищевой структуры [16].

Для определения таксономического сходства по станциям применен индекс Брея-Кертиса. Кластерный анализ проведен в программе BioDiversity Pro. Для выявления сходства серии описаний использовали индекс биотической дисперсии: $Jd=100 \cdot (T-S)/(n-1) \cdot T$, где: T – сумма видов в списках ($S_1+S_2+S_3+...+S_n$); S – общее число видов; n – число списков видов [17]. Оценку ожидаемого числа видов проводили с помощью алгоритма экстраполяции видового богатства Chao-2 [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего в прибрежье Каркинитского залива нами обнаружено 23 вида Mollusca, из них 1 вид относится к классу Polyplacophora, 13 – к Bivalvia, 9 – к Gastropoda (табл. 1).

Среди Bivalvia отмечены виды, большинство из которых характерно для рыхлых грунтов исследуемых глубин. К твердым субстратам приурочены три вида – *M. galloprovincialis* и *M. lineatus*, обитающие на поверхности субстрата, и *I. irus*, обитающий в трещинах и углублениях камней [10]. Присутствие этих видов в пробах связано с встречающимися на песке небольшими кусками известняковых камней и морской растительностью, к которым прикрепляются моллюски.

Гастроподы представлены повсеместно распространенными в Черном море видами: эвритопными (*B. reticulatum*, *R. membranacea*, *R. parva*, *S. adriatica*) и предпочитающими рыхлые грунты (род *Tritia*, *H. acuta*) [12, 19]. В единичном экземпляре в качественной пробе на глубине 1 м впервые в Каркинитском заливе (в районе с. Огни) обнаружен редкий для рыхлых грунтов и вообще в Черном море представитель семейства Pyramidellidae – *S. incerta* [12]. Ювенильные моллюски *Tritia* sp. здесь могут относиться или к *Tritia neritea* или к *T. pellucida*.

В пределах исследуемого биотопа виды распространены неравномерно. К руководящим видам (встречаемость > 50%) отнесли только три – *M. lineatus*, *C. glaucum*, *L. cinerea*. В группу характерных (встречаемость 25–50 %) вошли 5 видов: *A. segmentum*, *H. acuta*, *L. orbiculatus*, *B. reticulatum*, *S. adriatica*. Остальные виды относятся к редким (встречаемость <25 %).

Таблица 1

**Качественный и количественный состав Mollusca в прибрежной акватории
Каркинитского залива**

Вид	Средняя численность, экз. м ⁻²	Средняя биомасса, г м ⁻²	Встречае- мость, %
Polyplacophora			
<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	75	0,8	60
Bivalvia			
<i>Abra nitida</i> (O. F. Muller, 1776)	1	0,04	4
<i>A. segmentum</i> (Recluz, 1843)	125	0,5	44
<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	1	0,1	4
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguere, 1789)	55	10,5	60
<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	125	11	8
<i>Gouldia minima</i> (Montagu, 1803)	5	0,004	8
<i>Irus irus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,005	4
<i>Loripes orbiculatus</i> Poli, 1795	25	1,25	32
<i>Modiolula phaseolina</i> (Philippi, 1844)	1	0,2	4
<i>Modiolus adriaticus</i> Lamarck, 1819	1	1	4
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	800	50	85
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	1	0,001	8
<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795)	1	0,2	4
Gastropoda			
<i>Bittium reticulatum</i> (Da Costa, 1778)	30	0,26	28
<i>Ebala pointelli</i> (de Follin, 1868)	1	0,02	8
<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)	5	0,11	12
<i>R. parva</i> (da Costa, 1778)	6	0,02	20
<i>Hydrobia acuta</i> Draparnaud, 1805	91	0,22	40
<i>Spiralinella incerta</i> Milaschewitsch, 1916	+	+	+
<i>Steromphala adriatica</i> (Philippi, 1844)	15	1,49	28
<i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)	2	0,24	8
<i>T. pellucida</i> Risso, 1826	6	0,77	20
<i>Tritia</i> sp. (juv.)	2	0,14	4
Всего	1375±65	78±4	

+ качественные пробы

Самая высокая встречаемость (85 %) отмечена у двустворчатого моллюска *M. lineatus*. Этот вид широко распространен на многих черноморских субстратах от уреза воды до 70 м [14, 20, 21]. Устойчивые поселения образует только на малых глубинах [22–24]. Основную часть (70 %) поселения этого вида составила молодь, т. е. особи размером до 10 мм. Это может объясняться совпадением сроков размножения митилястера с периодом взятия проб. Однако нужно отметить, что в наших сборах почти полностью отсутствовали особи из более крупных размерных групп. Так, максимальный размер митилястера в Черном море составляет 25 мм [10], нами же было встречено только пять особей из размерной группы 20–25 мм.

Другие *Bivalvia* представлены немногочисленными или единичными экземплярами. Половозрелые особи отмечены у *Ch. gallina*. Длина раковины этого моллюска в наших сборах достигала 20 мм. Размножаться хамелея начинает при длине раковины 8–14 мм [25]. Вероятно, в поселениях еще двух видов *C. glaucum* и *A. tuberculata* также присутствовали половозрелые особи, так как среди них были встречены крупные экземпляры с длиной раковины до 17 и 21 мм соответственно. Основная часть моллюсков представлена молодью. Возможно, особи крупных размерных классов обитают на больших глубинах. В районе Бакальской косы отмечен относительно недавний вселенец в Черное море *A. kagoshimensis*. Кроме живых моллюсков в пробах были встречены створки *Solen* sp. и *Flexopecten glaber* (Gmelin, 1791).

Проанализировано сходство видового состава моллюсков в различных участках исследованного района (рис. 2).

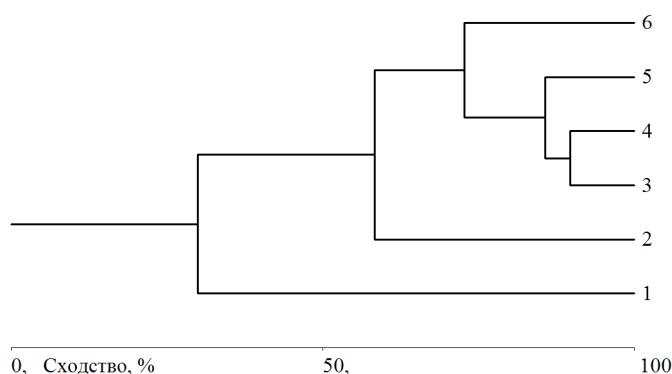


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава Mollusca на трансектах вдоль южной части Каркинитского залива (1 – Бакальская коса, 2 – акватория у села Огни, 3 – Лебяжий острова (внутренняя часть архипелага), 4 – Лебяжий острова (внешняя часть архипелага), 5 – Красноперекоский залив (устье реки Самарчик), 6 – Красноперекоский залив (вершина).

Наибольшее видовое сходство (7 общих видов) отмечено между станциями, расположенными с внешней и внутренней сторон архипелага Лебяжий острова. Это объясняется их соседним расположением и похожими условиями обитания.

Близкими к Лебяжьим островам по качественному составу являются устье и вершина Красноперекопского залива за счет некоторых видов, не встреченных нами западнее Лебяжьих островов (*H. acuta* и виды рода *Tritia*). Меньшее сходство малакофаун отмечено между данными районами и акваторией у села Огни и самое низкое – между всеми исследуемыми участками и побережьем Бакальской косы. Этот район характеризуется активной гидродинамикой. Наибольшее количество видов (14) отмечено во внешней части архипелага Лебяжьих островов, наименьшее (7) – у Бакальской косы.

Средние численность и биомасса Mollusca на всем полигоне составили 1375 ± 65 экз./м² и 78 ± 4 г./м² соответственно. Среди Bivalvia максимальные количественные значения были отмечены у *M. lineatus* (800 экз./м² и 50 г./м²). Из Gastropoda по численности преобладала *H. acuta* (91 экз./м²). Гидробия – эвригалинный и эвритермный вид, устойчивый к дефициту кислорода и тяготеющий к вершинам бухт и заливов [12]. В частности, *H. acuta* в большом количестве отмечена нами в бухтах Севастополя [26, 27]. По биомассе доминировал *S. adriatica* – самый крупный из зарегистрированных видов гастропод (1,49 г/м²).

Обобщенные количественные характеристики таксоцена моллюсков на разных трансектах представлены на рис. 3.

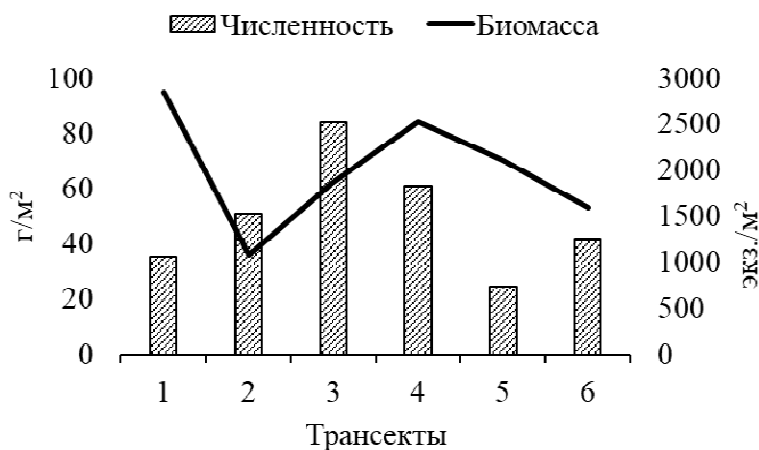


Рис. 3. Количественные показатели Mollusca на исследуемых трансектах вдоль южной части Каркинитского залива (1 – Бакальская коса, 2 – район села Огни, 3 – Лебяжьи острова (внутренняя часть), 4 – Лебяжьи острова (внешняя часть), 5 – Красноперекопский залив (устье реки Самарчик), 6 – Красноперекопский залив (вершина)).

Максимальная численность моллюсков отмечена в районе внутренней акватории Лебяжьих островов (78 % от общей численности составил *M. lineatus*), где условия обитания более благоприятные – подводные течения, способствующие аэрации воды и отсутствие гниющей морской травы *Zostera* sp. Минимальная численность наблюдалась у берегов Бакальской косы и в так называемом

Краснопереконском заливе (самой восточной части Каркинитского залива), где соленость (27 ‰) и температура воды (до + 32 °C) повышены.

Наибольшие значения биомассы зарегистрированы у побережья Бакальской косы (98 % – *Ch. gallina*) и у Лебяжьих островов (90 % – *M. lineatus*), наименьшие – у села Огни, где больше всего гниющей zostеры.

Таким образом, видовой состав и количественные характеристики таксоцены Mollusca отличались. Это может быть связано с неодинаковыми условиями их обитания в различных частях залива. В большинстве мест взятия проб песок был заилен, присутствовала гниющая трава с запахом сероводорода. Относительно благоприятные условия наблюдались только в районе архипелага Лебяжьих островов.

Зависимости изменения численности моллюсков с увеличением глубины не выявлено. Средняя биомасса с глубиной увеличивается ($R^2=0,97$). Минимум отмечен на 0–0,9 м (61,2 г.м⁻²), в вертикальном диапазоне 1–1,9 м биомасса увеличивается до 79,1 г.м⁻², а максимум приурочен к глубинам 2–5 м и составляет 89,9 г.м⁻². В основном это происходит благодаря крупному двустворчатому моллюску *Ch. gallina*. Этот вид типичен для глубин от 3 м [16].

В таксоцене Mollusca зарегистрировано 6 трофических групп: детритофаги, фитофаги, сестонофаги (фильтраторы), плотоядные, полифаги и эктопаразиты. В целом, по количеству видов (13), численности (1142 экз.м⁻²) и особенно биомассе (74,8 г.м⁻²) явно преобладают сестонофаги благодаря двустворчатым моллюскам, в основном *M. lineatus*. Среди Gastropoda по количеству видов преобладают фитофаги и плотоядные (по 3 вида), по численности – детритофаги (96 экз.м⁻², 59 %), по биомассе – фитофаги (1,62 г.м⁻², 49 %). Как показали проведенные расчеты, индекс однообразия пищевой структуры таксоцены Mollusca составил 0,7. Это может быть обусловлено преобладанием одной систематической группы (сестонофагов), что важно для процессов самоочищения акватории.

Мы сравнили наши данные по видовому составу моллюсков с таковыми предыдущих исследователей [8–10], работавших на разных участках Каркинитского залива, получив, таким образом, общее количество видов, встретившихся в его акватории: 61 (табл. 2).

Так, 18 видов было отмечено в 1930-е, 20 – в 1980-е, 51 – в 2007–2009 гг. и 23 – в 2018 г. Небольшая доля видов – 15 % оказалась сходной для всех четырех периодов исследований. Это четыре вида двустворчатых моллюсков – *A. nitida*, *L. orbiculatus*, *M. adriaticus* и *P. rudis*. Обращает на себя внимание отсутствие в наших сборах *Donacilla cornea*, отмеченной в 2007–2009 гг. Этот вид обитает на мелководье, где может образовывать одноименные сообщества и является индикатором относительно чистых акваторий [28–30].

В наших сборах были обнаружены виды, не отмеченные ранее: *E. pointelli*, *H. acuta*, *S. adriatica* и *T. neritea*. Отсутствие двоих из них в списках предыдущих авторов можно объяснить тем, что *E. pointelli* – редкая черноморская гастропода, особи которой имеют очень мелкий размер (высота раковины до 2,5 мм), а *S. adriatica* – вид, больше характерный для твердых субстратов и зарослей макрофитов [12]. Другие два вида – *H. acuta* – типичный обитатель мелководья в вершинах бухт и *T. neritea* – обитатель рыхлых грунтов вдоль всех берегов до

40–50 м [10, 12]. Вероятно, в 2007–2009 гг. эти виды не были встречены из-за мозаичности их распределения. Также, возможно, *H. acuta* обитала здесь и ранее (в 1930-х и 2000-х гг.), но поскольку морфологически она очень слабо отличается от *E. ventrosa*, мы не можем точно утверждать, что это были разные виды.

Таблица 2.

Видовой состав моллюсков Каркинитского залива в разные периоды исследований

Вид	1930-е гг., [8]	1980-е гг., [9]	2007–2009 гг., [10]	2018 г., наши данные
Polyplacophora				
<i>Lepidochitona cinerea</i>			+	+
Bivalvia				
<i>Abra alba</i>	+	+	+	
<i>Abra nitida</i>	+	+	+	+
<i>Abra segmentum</i>			+	+
<i>Acanthocardia paucicostata</i>	+	+	+	
<i>Anadara kagoshimensis</i>			+	+
<i>Cerastoderma glaucum</i>	+		+	+
<i>Chamelea gallina</i>			+	+
<i>Donacilla cornea</i>			+	
<i>Donax trunculus</i>			+	
<i>Fabulina fabula</i>			+	
<i>Flexopecten glaber</i>			+	
<i>Gastrana fragilis</i>			+	
<i>Gouldia minima</i>		+	+	+
<i>Kurtiella bidentata</i>			+	
<i>Irus irus</i>			+	+
<i>Lentidium mediterraneum</i>			+	
<i>Loripes orbiculatus</i>	+	+	+	+
<i>Lucinella divaricata</i>			+	
<i>Macomangulus tenuis</i>			+	
<i>Modiolula phaseolina</i>		+	+	+
<i>Modiolus adriaticus</i>	+	+	+	+
<i>Moerella donacina</i>			+	
<i>Mytilaster lineatus</i>		+	+	+
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	+	+	+	+
<i>Papillicardium papillosum</i>			+	
<i>Parvicardium exiguum</i>	+	+	+	
<i>Parvicardium simile</i>		+		

Продолжение таблицы 2

<i>Pitar rudis</i>	+	+	+	+
<i>Polititapes aureus</i>	+	+	+	
<i>Solen marginatus</i>			+	
<i>Spisula subtruncata</i>	+	+	+	
Gastropoda				
<i>Bittium reticulatum</i>			+	+
<i>Ebala pointelli</i>				+
<i>Calyptra chinensis</i>	+	+	+	
<i>Cerithiopsis minima</i>			+	
<i>C. tubercularis</i>	+		+	
<i>Cerithidium pusillum</i>	+	+		
<i>Chrysallida fenestrata</i>			+	
<i>Clathrus annulatus</i>	+			
<i>Ecrobia ventrosa</i>	+		+	
<i>Gibbula albida</i>			+	
<i>Mangelia costata</i>			+	
<i>Marshallora adversa</i>			+	
<i>Marshallora</i> sp.		+		
<i>Monophorus perversus</i>			+	
<i>Odostomia eulimoides</i>			+	
<i>Parthenina terebellum</i>			+	
<i>Pussilina incospicua</i>			+	
<i>Rapana venosa</i>			+	
<i>Retusa truncatula</i>	+	+		
<i>R. umbilicata</i>			+	
<i>Rissoa lilacina</i>		+		
<i>R. membranacea</i>			+	+
<i>R. parva</i>			+	+
<i>Hydrobia acuta</i>				+
<i>Steromphala adriatica</i>				+
<i>Tritia neritea</i>				+
<i>T. pellucida</i>			+	+
<i>T. reticulata</i>	+	+	+	
<i>Vitreolina incurva</i>			+	
Общее количество видов	18	20	51	23

Наибольшая площадь акватории залива была исследована в 2007–2009 гг. (мелководная и глубоководная части). В этот же период было взято самое большое количество проб и выявлено максимальное количество видов [9]. Полноту полученных нами данных характеризует кривая накопленного числа видов (рис. 4).

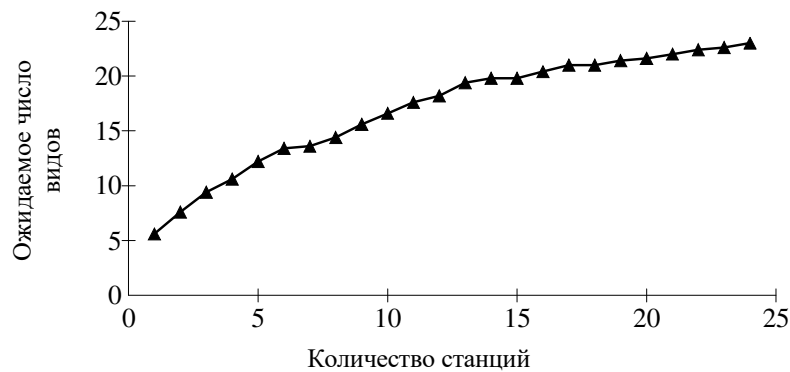


Рис. 4. Кумулятивная кривая ожидаемого числа видов моллюсков (S_{exp}) в прибрежной части Каркинитского залива в 2018 г.

Поскольку кривая постепенно возрастает, но не достигает горизонтальной асимптоты, есть возможность обнаружения в районе исследования новых видов.

За весь период исследований малакофауны Каркинитского залива отмечены только морские виды. Предполагаемые изменения видового состава под влиянием Северо-Крымского канала не выявлены. Только в вершине Красноперекопского залива ранее было опреснение иногда до 2–3 ‰ [9], а сейчас там соленость составляет 27 ‰. В этом районе преобладает эвригалинный вид *H. acuta*, выдерживающий соленость от 0,3 ‰ до 58 ‰ [12, 31]. Отмечены там и другие виды моллюсков, для которых повышенная соленость не является лимитирующим фактором, так как они имеют средиземноморское происхождение. В остальной части Каркинитского залива соленость в настоящее время находится в пределах 18–20 ‰, что соответствует нормальной черноморской солености.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Летом 2018 г. в мелководной зоне южной части Каркинитского залива отмечено 23 вида Mollusca, относящихся к трем классам: Bivalvia – 13, Gastropoda – 9, Polyplacophora – 1. Большинство встреченных видов являются эвритопными или характерными для песчано-илистых биотопов. Моллюски распределены неравномерно. Только 3 вида – *M. lineatus*, *C. glaucum*, *L. cinerea* – руководящие, 5 – характерные и 14 – редкие. Это может говорить о низком видовом разнообразии таксоцена моллюсков в исследуемой акватории. Показано, что большая часть видов представлена молодью. Только в поселениях *M. lineatus*, *Ch. gallina* и некоторых Gastropoda отмечены разноразмерные и половозрелые особи.

Средние численность и биомасса моллюсков составили 1375 ± 65 экз. $\cdot$ м⁻² и 78 ± 4 г $\cdot$ м⁻² соответственно. Максимальная численность и биомасса моллюсков отмечены в центральной части исследуемого полигона, в районе заповедника «Лебяжьих острова». Анализ вертикального распределения моллюсков показал, что зависимости их средней численности от изменения глубины не выявлено, а средняя биомасса с увеличением глубины повышалась, преимущественно за счет *Ch. gallina*.

Таксоцен Mollusca включает в себя 6 трофических групп: детритофаги, фитофаги, сестонофаги, плотоядные, полифаги и эктопаразиты. По количеству видов (13), численности (1142 ± 63 экз.м²) и биомассе (75 ± 3 г·м⁻²) преобладали сестонофаги. Индекс однообразия пищевой структуры составил 0,7.

При сравнении наших данных по видовому составу с таковыми предыдущих авторов, полученных из разных участков Каркинитского залива, выявлено, что на мелководье встречается 38 % от общего числа видов, обнаруженных в данной акватории. Однако анализ алгоритма экстраполяции видового богатства Chao-2 показал, что в исследуемом районе вероятно обнаружение большего количества видов.

Таким образом, качественный состав и количественное развитие Mollusca в исследованной акватории невысокие. Это можно объяснить тем, что прибрежная зона Каркинитского залива находится под влиянием негативных антропогенных (сточные воды, добыча песка, промышленные работы) и нестабильных природных (перепады температур, заморы) факторов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают Благодарности научным сотрудникам отдела Экологии бентоса ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ кандидатам биологических наук А. А. Надольному и В. А. Тимофееву за помощь в отборе проб.

Статья подготовлена в рамках Государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», тема № 0556-2021-0002, номер гос. регистрации 121030100028-0.

Список литературы

1. Зенкович В. П. Морфология и динамика Советских берегов Черного моря / В. П. Зенкович. – Т. 2. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. – 216 с.
2. Водно-болотні угіддя України. Довідник / Під ред. Марушевського Г. Б., Жарук І. С. Київ, Чорноморська програма Ветландс Інтернешнл, 2006. – 312 с.
3. Географічна енциклопедія України. Т. 2. Київ: «Укр. Рад. Енциклопедія» ім. М.П. Бажана, 1990. – 479 с.
4. Иванов В. А. Термохалинный режим акватории Каркинитского залива и экологические последствия природопользования / В. А. Иванов, Е. Е. Совга, Т. В. Хмара, В. В. Зима // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – Т. 3. – С. 22–33.
5. Болтачев А. Р. Морские рыбы Крымского полуострова / А. Р. Болтачев, Е. П. Карпова. 2-е изд. Симферополь: Бизнес Информ, 2017. – 376 с.
6. Карпова Е. П. Сообщества рыб Каркинитского залива / Е. П. Карпова, А. Р. Болтачев, Э. Р. Аблязов, Р. Е. Прищепа // Морские биологические исследования: достижения и перспективы (Севастополь, 19-24 сентября 2016 г.): сборник всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. – Т. 2. – С. 86–89.
7. Арнольди Л. В. Материалы по количественному изучению зообентоса Черного моря. II. Каркинитский залив / Л. В. Арнольди // Труды Севастопольской биологической станции. – 1949. – Т. 7. – С. 127–192.
8. Повчун А. С. Изменения бентоса Каркинитского залива за 50 лет / А. С. Повчун // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26, № 5. – С. 20–27.

9. Болтачева Н. А. Таксономический состав макрозообентоса Каркинитского залива (Чёрное море) в начале XXI века / Н. А. Болтачева, Н. К. Ревков, Л. В. Бондаренко, Е. А. Колесникова, В. А. Тимофеев, В. Г. Копий // Морские биологические исследования: достижения и перспективы (Севастополь, 19-24 сентября 2016 г.): сборник всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. – Т. 2. – С. 36–39.
10. Голиков А. Н. Определитель фауны Черного и Азовского морей. Т. 3: моллюски / А. Н. Голиков, Я. И. Старобогатов – К., Наукова думка, 1972. – 340 с.
11. Ревков Н. К. Особенности колонизации Чёрного моря недавним вселенцем-двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae) / Н. К. Ревков // Морской биологический журнал. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 3–17.
12. Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря / В. Д. Чухчин. – Киев: Наукова думка, 1984. – 176 с.
13. World register of marine species. URL: <http://www.marinespecies.org>. [Accessed on 12.01.2022].
14. Воробьев В. П. Бентос Азовского моря / В. П. Воробьев // Тр. Азово-Черноморского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. – 1949. – Вып. 13. – С. 5–95.
15. Справочник по экологии морских двустворок / По ред. Л. М. Давиташвили, Р. Л. Мерклин. – Москва: Наука, 1966. – 351 с.
16. Киселева М. И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря / М. И. Киселева – Киев: Наукова думка, 1981. – 168 с.
17. Сёмкин Б. И. Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний / Б. И. Сёмкин, М. В. Горшков // Комаровские чтения. – 2010. – С. 203–220.
18. Петров А. Н. Прогностическая оценка видового богатства бентосных диатомовых водорослей / А. Н. Петров, Е. Л. Неврова // Альгология. – 2012. – Т. 22, № 4. – С. 360–382.
19. Culha M. New records for the mollusca fauna of the Black Sea coasts (Sinop Peninsula) of Turkey: *Gibbula adriatica* (Philippi, 1844); *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805); *Mangelia costata* (Donovan, 1804), (Gastropoda: Trochidae, Hydrobiidae, Conidae) / E. Zeki, B. Levent // Conchylia. – 2009. – Vol. 40, № 1/2. – P. 28–32.
20. Макаров М. В. Структура таксоцены Mollusca на естественных твёрдых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма / М. В. Макаров, М. А. Ковалева // Экосистемы. – 2017. – Вып. 9. – С. 20–24.
21. Макаров М. В. Mollusca на искусственных твердых субстратах вдоль побережья Крыма (Черное море) / М. В. Макаров // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2018. – Т. 4 (70), № 1. – С. 55–62.
22. Киселёва М. И. Качественный состав и количественное распределение макро- и мейобентоса у северного побережья Кавказа / М. И. Киселева, О. Я. Славина // Бентос. Киев: Наукова думка, 1965. – С. 62–80.
23. Миловидова Н. Ю. Донные биоценозы Новороссийской бухты / Н. Ю. Миловидова // Распределение бентоса и биология донных животных в южных морях. Киев, Наукова думка. – 1966. – С. 75–89.
24. Ковалева М. А. Макрозообентос глинистых субстратов / М. А. Ковалева // Биология Черного моря у берегов Юго-Восточного Крыма / под ред. Н. С. Костенко. Симферополь: ИТ «АРИАЛ». – 2018. – С. 255–262.
25. Чухчин В. Д. Биология размножения *Venus gallina* L. (Lamellibranchia) в Черном море / В. Д. Чухчин // Бентос. Киев: Наукова думка, 1965. – С. 15–23.
26. Макаров М. В. Современное состояние малакофауны рыхлых грунтов в вершинной части бухты Казачьей (Черное море) / М. В. Макаров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – Вып. 1. – С. 119–130.
27. Макаров М. В. Сезонная изменчивость таксоцены Mollusca рыхлых грунтов контактной зоны реки Черной и Севастопольской бухты (Юго-Западный Крым) / М. В. Макаров // Экосистемы. – Вып. 21. – 2020. – С. 109–118. DOI 10.37279/2414-4738-2020-21-109-118.
28. Копий В. Г. Современное состояние поселений *Donacilla cornea* в прибрежных районах северо-западной части Чёрного моря / В. Г. Копий // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Біологія. – 2012. – Т. 2, № 51. – С. 140–144.

29. Ревков Н. К. Моллюски. Донацилла роговая / Н. К. Ревков // Красная книга Республики Крым. Животные. – 2015. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ». – С. 41.
30. Micu D. Recent records, growth and proposed IUCN status of *Donacilla cornea* (Poli, 1795) from the Romanian Black Sea / D. Micu, S. Micu // Cercetari marine. – 2006. – Vol. 36. – P. 117–132.
31. Макаров М. В. Распределение Моллюска в реке Черная (Юго-Западный Крым) / М. В. Макаров // Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем – 2020: тезисы докл. всерос. онлайн-конференции (Севастополь, 21-23 октября 2020 г.). – С. 53–54.

MOLLUSKS OF THE COASTAL WATER AREA OF KARKINITSKIY GULF (THE BLACK SEA, CRIMEA)

Kovaleva M. A., Makarov M. V.

Institute of biology of the southern seas, Sevastopol, Russia

E-mail: kovalmargarita@mail.ru

In this paper recent data on the species composition, abundance, biomass, occurrence, horizontal (spatial) and vertical distribution, and trophic groups of mollusks, collected in the coastal (at depth of 0–5 m) southern part of the Karkinitskiy gulf on soft sediments in the summer of 2018 were presented. A total of 50 quantitative benthic samples (two at each station) and 5 qualitative samples were taken on 25 stations. Survey of benthos on 6 transects located perpendicularly to the coastline was carried out.

A total of 23 species of Mollusca, belonging to three classes: Bivalvia – 13 species, Gastropoda – 9 species and Polyplacophora – 1 species were found. Most of the species encountered were eurytopic or characteristic for sandy-silty biotopes.

The average abundance of 1375 ind.m⁻² and average biomass of 78 g.m⁻² were recorded. Most of the species were presented by juvenile specimens. Only in the colonies of bivalvies *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791), *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758), and some Gastropoda, individuals of different size and sex were found.

Species composition along the coast of Karkinitskiy gulf from Bakalskaya spit in West and Krasnoperekopskiy gulf in East different from one transect to another. The highest level of similarity (only 7 common species) was registered for the inner and outer waters of the Lebyazhy (Swan) islands region and the mouth of the Krasnoperekopskiy gulf (near mouth of small river Samarchik). The average abundance and average biomass of mollusks were 1375±65 ind.m⁻² and 78±4 ind.m⁻², respectively. The maximum of abundance (1833 ind.m⁻²) was registered in the water area of the Lebyazhy (Swan) islands nature reserve in central part of investigated region. The minimum of abundance was registered near western coast of Bakalskaya spit and in the Krasnoperekopskiy gulf. The largest biomass was registered in the water areas near the Bakalskaya spit (95,3 g/m²) and Lebyazhy islands (93,7 ind.m⁻²). The minimum of biomass of mollusks was registered on transect near Ogni village, which water area was filled with rotting marine grass of genus *Zostera*. Bivalvies *M. lineatus* had the highest of occurrence (85 %). In general, only three species were characterized as leading species (occurrence more than 50 %) – bivalvies

M. lineatus, *Cerastoderma glaucum* (Bruguere, 1789) and chiton *Lepidochitona cinerea* (Linnaeus, 1767).

Analyze of the vertical distribution of mollusks showed the average abundance of individuals not depended from changes of depth, however the average biomass some increased with increase of depth mainly due to bivalves *Ch. gallina*.

A total six trophic groups were defined here: detritus feeders, seston feeders, predators, ectoparasites, phytophages and polyphages. Sestonophages were clear dominated at all features – number of species (13), abundance ($1142 \pm 63 \text{ ind. m}^{-2}$), but especially at biomass ($74,8 \pm 3 \text{ g. m}^{-2}$) mainly due to bivalves *M. lineatus*. The value of the index of uniformity of food structure was 0,7.

In generally, the species richness, abundance, and biomass of Mollusca in the studied water area were relatively low. This caused by the strong anthropogenic pressure (wastewater from settlements, sand mining, industry impact) and some negative natural factors (large annual temperature fluctuations, hypoxic condition in summertime) in the shallow waters of Karkinitzkiy gulf.

Keywords: taxon, composition, distribution, structure, abundance, biomass, salinity.

References

1. Zenkovich V. P. *Morphology and dynamics of Soviet coasts of the Black Sea*. 2. (Moscow: AN SSSR, 1960), 216 p. (In Russ.).
2. *Wetlands of Ukraine*. Directory / pod. red. Marushevskogo G. B., Zharuk I. S. (Kyiv: Chornomorska programma Wetlands International, 2006), 312 p. (In Ukrain.).
3. *Geographic encyclopedia of Ukraine*. 2. (Kyiv: Ukr. Rad. Enciklopedia im. M. P. Bazhana, 1990), 479 p. (In Ukrain.).
4. Ivanov V. A., Sovga E. E., Khmara T. V., Zima V. V. Thermohaline regime of the Karkinitzkiy gulf water area and environmental consequences of nature management. *Ecological safety of coastal and shelf zones*, 3, 22 (2018).
5. Boltachev A. R., Karpova E. P. *Marine fishes of Crimean Peninsula*. 2. (Simferopol: Biznes Inform, 2017). 376 p. (In Russ.).
6. Karpova E. P., Boltachev A. R., Ablyazov E. R., Prichepa R. E. The communities of fishes of the Karkinitzkiy gulf, *Material of the international scientific conference Marine biological research: achievements and prospects* (Sevastopol, 2016). p. 86.
7. Arnoldi L. V. Materials for the quantitative study of the zoobenthos of the Black Sea. II. Karkinitzkiy gulf. *Proceedings of Sevastopol biological station*. 7, 127. (1949).
8. Povchun A. S. Benthic changes of the Karkinitzkiy gulf during 50 years. *Hydrobiological journal*, 26 (5), 20 (1990).
9. Boltacheva N. A., Revkov N. K., Bondarenko L. V., Kolesnikova E. A., Timofeev V. A., Kopyi V. G. Taxonomic composition of the macrozoobenthos of the Karkinitzkiy gulf (the Black Sea) at the beginning of the XXI century, *Material of the international scientific conference Marine biological research: achievements and prospects* (Sevastopol, 2016). p. 36.
10. Golikov A. N., Starobogatov Ya. I. Mollusks. *The definition of fauna of the Black and Azov Seas*. 3, 65 (1972).
11. Revkov N. K. Features of the colonization of the Black Sea by the recent invasive bivalve mollusk *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae). *Marine biological journal*. 1 (2), 3 (2016).
12. Chukhchin V. D. *Ecology of Gastropod Mollusks of the Black Sea*, 176 (Kiev: Naukova Dumka, 1984). (In Russ.).
13. *World register of marine species*. URL: <http://www.marinespecies.org>. [Accessed on 12.01.2022].
14. Vorobiov V. P. Benthos of the Sea of Azov. *Proceedings of Black-Azov Seas scientific-research institute of fisheries and oceanography*. 13, 5 (1949).

15. *The directory at ecology of marine bivalves*. Pod red. Davitashvili L. M., Merklin R. L. (Moscow, Nauka. 1966), 351 p. (in Russ.).
16. Kiselyova M. I. *Benthos of soft bottoms of the Black Sea*. Kiev: Nauk. dumka, 1981. 168 p.
17. Syomkin B. I., Gorshkov M. V. About similarity and difference in series floristic and phytocenotic description. *Komarovs readings*, 203 (2010).
18. Petrov A. N., Nevrova E. L. Prognostic estimate of species richness of benthic diatoms. *Algologiya*, **22** (4), 360 (2012).
19. Culha M., Zeki E., Levent B. New records for the mollusca fauna of the Black Sea coasts (Sinop Peninsula) of Turkey: *Gibbula adriatica* (Philippi, 1844); *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805); *Mangelia costata* (Donüvan, 1804), (Gastropoda: Trochidae, Hydrobiidae, Conidae). *Conchylia*, **40** (1/2), 28 (2009).
20. Makarov M. V., Kovaleva M. A. The structure of taxon Mollusca on natural hard substrates in water areas of in protected areas of Crimea. *Ecosystems*, **9**, 20 (2017).
21. Makarov M. V. The Mollusca on artificial hard substrates along the Crimean coast (the Black Sea). *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4** (70), **1**, 55 (2018).
22. Kiselyova M. I. Slavina O. Ya. Qualitative composition and quantitative distribution of macro- and meiobenthos off the northern coast of the Caucasus. *Benthos*, 62 (1965).
23. Milovidova M. Yu. Bottom biocenoses of the Novorossiysk bay. *Distribution of benthos and biology of benthic animals in the southern seas*. 75 (1966).
24. Kovaleva M. A. Macrozoobenthos of clay substrates. *Biology of the Black Sea off the coast of the South-Eastern Crimea*. 255 (2018).
25. Chukhchin V. D. Reproduction biology of *Venus gallina* L. (Lamellibranchia) in the Black Sea. Benthos. (Kiev: Naukova dumka, 1965). 137 p. (In Russ.).
26. Makarov M. V. The current state of malacofauna at soft bottoms in the Kazachya Bay head (the Black Sea). *Ecological safety of coastal and shelf zones*, **1**, 119 (2020a).
27. Makarov M. V. Seasonal changes of mollusks taxocene on soft sediments in the river-sea contact zone at the mouth of the Chernaya river and corner part of the Sevastopol Bay (South-Western Crimea). *Ecosystems*, **21**, 109 (2020b). DOI 10.37279/2414-4738-2020-21-109-118.
28. Kopy V. G. Current state of the *Donacilla cornea* settlements in the coastal regions of the northwestern part of the Black Sea. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University. Ser. Biology*, **2** (51), 140 (2012).
29. Revkov N. K. Mollusca. *Donacilla cornea*. *Red Data Book of the Republic of Crimea. Animals*, 41 (2016).
30. Micu D., Micu S. Recent records, growth and proposed IUCN status of *Donacilla cornea* (Poli, 1795) from the Romanian Black Sea. *Cercetari marine*, **36**, 117 (2006).
31. Makarov M. V. Distribution of Mollusca in river Chernaya (South-West Crimea) // *Abstracts of Russian on-line conferebce Actual problems of research Black Sea ecosystems-2020*. (Sevastopol, 2020). p. 53.

УДК 595.782

**КАТАЛОГ КОЛЛЕКЦИИ ЖИВОТНЫХ КАФЕДРЫ ЗООЛОГИИ
АКАДЕМИИ БИОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ ИМ. Д. И. ИВАНОВСКОГО
ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА. СООБЩЕНИЕ 2. ОТРЯД
ЧЕШУЕКРЫЛЫЕ – LEPIDOPTERA, СЕМЕЙСТВО ЛИСТОВЁРТКИ –
TORTRICIDAE**

Романчук Р. В.^{1,2,3}, Кладковая О. А.^{1,2}

¹*Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

²*Испытательная лаборатория Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИКР», Ростов-на-Дону, Россия*

³*Ростовское отделение Русского энтомологического общества, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru*

В работе приводится аннотированный каталог бабочек листовёрток (Lepidoptera: Tortricidae), содержащий сведения о 31 виде из 22 родов в составе двух подсемейств, хранящихся в коллекции животных кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета. Подсемейство Tortricinae представлено 14 видами: *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Acleris forsskaleana*, *A. variegana*, *A. rhombana*, *Archips rosana*, *A. podana*, *A. xylosteana*, *Clepsis pallidana*, *Pandemis chondrillana*, *P. heparana*, *Agapeta hamana*, *Eugnosta magnificana*, *Phalonidia contractana*. Подсемейство Olethreutinae – 17 видами: *Hedya salicella*, *H. nubiferana*, *Celypha striana*, *Olethreutes arcuellus*, *Eucosma metzneriana*, *E. conterminana*, *E. tundrana*, *Epiblema foenella*, *Thiodia torridana*, *Zeiraphera isertana*, *Epinotia nisella*, *Spilonota ocellana*, *Notocelia cynosbatella*, *Gypsonoma minutana*, *Grapholita coronillana*, *Cydia pyrivora*, *C. pomonella*.

Ключевые слова: Южный федеральный университет, кафедра зоологии, коллекционный фонд, чешуекрылые, листовёртки, Lepidoptera, Tortricidae, каталог.

ВВЕДЕНИЕ

История коллекционирования насекомых насчитывает сотни лет и уходит корнями в середину XVIII века. Университетские коллекции, как правило, собираются научными работниками, студентами и аспирантами, осуществляющими специализированные фаунистические, экологические или таксономические исследования. При этом связь между энтомологическими исследованиями на определенной территории и содержанием коллекций насекомых в различных типах музеев того же региона может быть как прямой (краеведческий аспект изысканий, целенаправленное накопление зоологического материала определённого региона), так и отсутствовать вовсе [1]. Во втором случае сборы могут оседать в частных коллекциях, либо полностью или частично передаваться на хранение в крупные музеи [1]. Настоящая работа продолжает серию статей [2], посвящённых описанию

таксономического многообразия и каталогизации животных, представленных в фондах музея кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета (Зоологического музея ЮФУ) (далее – АБиБ ЮФУ, ЗМ ЮФУ). Коллекция музея, будучи весьма обширным собранием представителей фауны разных регионов земного шара, пользуется заслуженным вниманием как со стороны сотрудников, студентов и аспирантов университета, так и специалистов из различных учебных и научных организаций, отечественных и зарубежных.

Листовёртки (Tortricidae) – распространённое по всему миру семейство мелких бабочек из группы так называемых «микрочешуекрылых» (Microlepidoptera). Является одним из самых крупных семейств в отряде Lepidoptera. Мировая фауна насчитывает более 10 000 видов [3]. В России Tortricidae представлены 156 родами и 1 170 видами, что делает их одним из наиболее таксономически богатых семейств бабочек в нашей стране [4]. Максимальное видовое разнообразие наблюдается в зоне смешанных и широколиственных лесов северного полушария, а также в субтропических и тропических лесах Азии [5]. Среди листовёрток известны серьёзные вредители садоводства, паркового, сельского и лесного хозяйства, из которых более 100 видов развиваются в Европе [6]. При этом число видов, имеющих хозяйственное значение, с годами лишь возрастает, что связывают с активным освоением листовёртками новых экологических условий, формирующихся в результате хозяйственного освоения природных ландшафтов и антропогенной трансформации экосистем [5, 7]. Некоторые виды, например, *Grapholita molesta* (Busck, 1916), имеют карантинный статус на территории Российской Федерации [8, 9].

Основу коллекции Tortricidae фондов кафедры зоологии АБиБ составляют материалы из Ростовской области (РО). Стоит отметить, что фауна листовёрток РО изучена относительно слабо. В ранних работах, датирующихся концом XIX – началом XX века [10, 11] и серединой XX века [12, 13], приведены сведения о 21 виде листовёрток из окрестностей Таганрога, Ростова-на-Дону и с территории Ботанического сада ЮФУ (РГУ). В новейшей сводке приводится список из 91 вида тортрицид [14]. Однако очевидно, что накопленные сведения не являются исчерпывающими. Часть материала, собранного в период 2005–2015 гг. требует обработки и определения [14]. Помимо видового состава, массив данных об экологических связях листовёрток также нуждается в постоянном обновлении, дополнении и обобщении. Это особенно актуально, учитывая высокое хозяйственное значение семейства и специфику Ростовской области, являющейся субъектом с развитым сельским хозяйством [15, 16].

Цель работы заключается в предоставлении сведений о составе коллекции Tortricidae кафедры зоологии АБиБ ЮФУ в форме аннотированного каталога. В задачи вошли: верификация таксономического состава и систематизация материала; определение научной, научно-практической и исторической ценности коллекции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей статьи послужило собрание бабочек листовёрток ЗМ ЮФУ, по большей части, разрозненно хранившихся в нескольких коллекционных ящиках. Часть материала была определена исследователями в годы поимки экземпляров, однако на некоторых этикетках были указаны невалидные латинские названия. Множество смонтированных (расправленных и наколотых на булавку «домиком») бабочек содержали лишь географические и, иногда, экологические этикетки. Для первого случая нами уточнялось современное латинское название таксона с последующей верификацией видовой принадлежности, для второго – проводилось видовое определение.

Для определения листовёрток по габитусу использовались литературные [14, 17] и интернет-источники [18–20], а также частная коллекция чешуекрылых первого автора и справочная коллекция насекомых-вредителей Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИКР».

Для определения спорных и сложнодиагностируемых видов применялась методика препарирования копулятивных аппаратов путём мацерации фрагмента брюшка в 10 % щелочном растворе (КОН). После анализа морфологии, выделенные органы были помещены в микропробирки с глицерином и, в настоящий момент, хранятся в коллекции вместе с экземплярами имаго, собранных в одну энтомологическую коробку и расставленных в систематическом порядке с учётом фамилий сборщиков. Номенклатура Tortricidae дана в соответствии с новейшим изданием каталога чешуекрылых России [4].

Для некоторых из указанных на оригинальных этикетках локалитетов, на наш взгляд, необходимы дополнительные пояснения с подробным указанием мест сбора. Приводим их ниже:

1. «Ростов-Д», «Р/Д» – Россия, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону;
2. «Ботсад» – Ботанический сад Южного федерального университета;
3. «Аксай» – Россия, Ростовская обл., Аксайский р-н, г. Аксай;
4. «Вел.-Анад.» – Донецкая Народная Республика (ДНР), Волновахский р-н, заказник «Великоанадольский лес»;
5. «п. Танаис» – Россия, Ростовская обл., Мясниковский район, хут. Недвиговка, археологический музей-заповедник «Танаис»;
6. «оз. Койсуг» – Россия, Ростовская обл., 3–4 км. севернее г. Батайска, Койсугское озеро (плёс);
7. «М.-Янисел» – субъект в бывшем Мариупольском уезде Екатеринославской губернии, на сегодняшний день – Донецкая область Украины.
8. «п. Гузерипль» – на сегодняшний день локалитет находится в Республике Адыгея в пределах Кавказского государственного биосферного заповедника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Superfamily **TORTRICOIDEA** Latreille, 1802
Family **Tortricidae** Latreille, 1802
Subfamily **Tortricinae** Latreille, 1803
Tribe Tortricini Latreille, 1803

Genus *Tortrix* (Linnaeus, 1758)

1. *Tortrix viridana* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростов-Д, дуб, 19.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 20.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 21.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 25.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 26.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 20.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 22.V.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 26.V.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова); Ростовская обл., г. Ростов/Дон, Ботсад, выведена из куколки, V.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз.; Ставропольский край, г. Пятигорск, VI.1993, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз.; Р/Д, 08.VI.1999, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Aleimma* (Hübner, 1825)

2. *Aleimma loeflingiana* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростов-Д, дуб, 21.V.1938, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Ростов-Д, дуб, 23.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 24.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 25.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 27.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 20.V.1939, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 29.V.1941, leg. В. П. Романова – 2 экз. (det. В. П. Романова).

Genus *Acleris* (Hübner, 1825)

3. *Acleris forsskaleana* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростов-Д, клён, 04.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, 05.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

4. *Acleris variegana* (Denis & Schiffermuller, 1775)

Материал: Ростов-Д, 06.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, яблоня, 18.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

5. *Acleris rhombana* (Denis & Schiffermuller, 1775)

Материал: Аксай, боярышник, X.1939, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Аксай, вишня, X.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Аксай, боярышник, 25.IX.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 28.IX.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Tribe Archipini Pierce & Metcalfe, 1922

Genus *Archips* (Hübner, 1822)

6. *Archips rosana* (Linnaeus, 1758)

Материал: М.-Янисел, участок см. дн., 03.VII.1905, leg. Д. П. (?) – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Вел.-Анад., на лампу, 11.VI.1906 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростов-Д, яблоня, 27.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, берест, 30.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 31.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, яблоня, 31.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, 31.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, бересклет, 08.VI.1938, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Ростов-Д, смородина,

12.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, яблоня, 16.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, смородина, 18.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Н. Филиппев); Ростов-Д, дуб, 23.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 26.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 28.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова); Ростов-Д, липа, 10.VI.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. А. С. Данилевский); Ростов-Д, лист дуба, 01.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова); Донское лесничество, берест, дн., 06.VI.1941 – 1 экз. (собрана гусеница), дн., 18.VI.1941 – гусеница окуклилась (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростов-Д, лист тёрна, 16.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова); Донское лесничество, 13 кв., тёрн, дн., 26.VI.1941 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростовская обл, п. Танаис, степь, 15.VI.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростовская обл., г. Новошахтинск, 30.VI.1981, Т. Н. Костарёва – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

7. *Archips podana* (Scopoli, 1763)

Материал: М.-Янисел, участок см. дн., 03.VII.1905, leg. Д. П. (?) – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

8. *Archips xylosteana* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростов-Д, дуб, 12.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Н. Филиппев); Ростов-Д, дуб, 03.VI.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, ильм, 03.VI.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. А. С. Данилевский); Ростов-Д, дуб, 11.VI.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, яблоня, 11.VI.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 01.VI.1941, leg. В. П. Романова – 4 экз. (det. В. П. Романова); г. Ростов/Дон, левый берег Дона, пляж, VI.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Clepsis* (Guenee, 1845)

9. *Clepsis pallidana* (Fabricius, 1776)

Материал: Ростов-Д, капуста, 12.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, капуста, 14.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Genus *Pandemis* (Hübner, 1825)

10. *Pandemis chondrillana* (Herrich-Schaffer, 1860)

Материал: оз. Койсуг, тополь, 02.VIII.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. А. С. Данилевский).

11. *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermuller, 1775)

Материал: Ростов-Д, дуб, 18.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 22.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростов-Д, яблоня, 24.V.1938, leg. В.П. Романова – 1 экз. (det. Н. Филиппев); Ростов-Д, дуб, 27.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Н. Филиппев); Ростов-Д, 30.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростов-Д, дуб, 26.V.1940, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. А. С. Данилевский); Ростов-Д, лист дуба, 28.V.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист ясеня, 02.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 04.VI.1941,

leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 04.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 05.VI.1941, leg. В.П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист бирючины, 05.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист вишни, 07.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 13.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист ясеня, 14.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 26.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Tribe Cochylini (Guenee, 1845)

Genus *Agapeta* (Hübner, 1825)

12. *Agapeta hamana* (Linnaeus, 1758)

Материал: Вел.-Анад., на свет, 14.VI.1905 – 1 экз.; Вел.-Анад., на свет, 21.VI.1905 – 1 экз.; Вел.-Анад., на лампу, 16.V.1906 – 1 экз.; Вел.-Анад., на лампу, 24.VI.1906 – 1 экз.; Вел.-Анад., на лампу, 12.VII.1906 – 3 экз.; Вел.-Анад., на лампу, 14.VII.1906 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростовская обл., Тарасовский р-н, ст. Митякинская, на свет, 12.VII.1967, leg. М. Ханин – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая); Ростовская обл., г. Новошахтинск, 30.VI.1981, Т. Н. Костарёва – 1 экз.; г. Ростов/Дон, Ботсад, лесные участки, VI.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Eugnosta* (Hübner, 1825)

13. *Eugnosta magnificana* (Rebel, 1914)

Материал: Вел.-Анад., полосы, 12.V.1905 – 1 экз.; Вел.-Анад., на свет, 14.VI.1905 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая). *Примечание:* «полосы» – лесозащитные полосы.

Genus *Phalonidia* (Le Marchand, 1933)

14. *Phalonidia contractana* (Zeller, 1847)

Материал: Вел.-Анад., на лампу, 08.VII.1905 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Subfamily **Olethreutinae** Hübner, 1825

Tribe Olethreutini (Walsingham, 1895)

Genus *Hedya* (Hübner, 1825)

15. *Hedya salicella* (Linnaeus, 1758)

Материал: Р/Д, 08.VI.1999, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

16. *Hedya nubiferana* (Haworth, 1811)

Материал: Ростов-Д, вишня, 17.V.1938, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Ростов-Д, вишня, 25.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 20.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 21.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 22.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 23.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 25.V.1939,

leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 27.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, вишня, 29.V.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Genus *Celypha* (Hübner, 1825)

17. *Celypha striana* (Denis & Schiffermuller, 1775)

Материал: Вел.-Анад., 24 кв., на лампу, 08.VIII.1905 – 4 экз.; Вел.-Анад., 24 кв., на лампу, 21.VIII.1905 – 1 экз.; Вел.-Анад., 24 кв., на лампу, 22.VIII.1905 – 1 экз.; Вел.-Анад., на лампу, 01.V.1906 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Olethreutes* (Hübner, 1822)

18. *Olethreutes arcuellus* (Clerck, 1759)

Материал: Вел.-Анад., вечером, 15.IV.1906 – 1 экз.; Краснодарский край, Майкопский р-н, п. Гузерибль, пастбище Абаго, 15.VII.1989, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Tribe Eucosmini Meyrick, 1909

Genus *Eucosma* (Hübner, 1823)

19. *Eucosma metzneriana* (Treitschke, 1830)

Материал: Ростовская обл, п. Танаис, степь, 15.VI.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

20. *Eucosma conterminana* (Guenee, 1845)

Материал: Вел.-Анад., на лампу, 12.VII.1906 – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

21. *Eucosma tundrana* (Kennel, 1900)

Материал: Вел.-Анад., на лампу, 12.VII.1906 – 2 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Epiblema* (Hübner, 1825)

22. *Epiblema foenella* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростовская обл., г. Новошахтинск, 10.VII.1981, Т. Н. Костарёва – 2 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Thiodia* (Hübner, 1825)

23. *Thiodia torridana* (Lederer, 1859)

Материал: Ростов н/Д, Ботсад, 19.V.1937, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Zeiraphera* Treitschke, 1829

24. *Zeiraphera isertana* (Fabricius, 1794)

Материал: Ростов-Д, дуб, 12.VI.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, 08.VI.1940, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист дуба, 02.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Genus *Epinotia* (Hübner, 1825)

25. *Epinotia nisella* (Clerck, 1759)

Материал: Ростов-Д, 12.VI.1940, leg. В. П. Романова – 1 экз.
(det. А. С. Данилевский).

Genus *Spilonota* (Stephens, 1829)

26. *Spilonota ocellana* (Denis & Schiffermuller, 1775)

Материал: Ростов-Д, яблоня, 25.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, дуб, 27.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, 27.V.1938, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. Н. Филиппев); Ростов-Д, яблоня, 28.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, 30.V.1939, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, яблоня, 25.V.1939, leg. В. П. Романова – 2 экз.; Ростов-Д, Бот. сад, 17.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Genus *Notocelia* Hübner, [1825]

27. *Notocelia cynosbatella* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростов-Д, гусеница на дубе, 20.V.1940, leg. В. П. Романова – 1 экз.
(det. А. С. Данилевский).

Genus *Gypsonoma* (Meyrick, 1895)

28. *Gypsonoma minutana* (Hübner, 1799)

Материал: Ростов-Д, лист тополя, 02.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова); Ростов-Д, 03.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. А. С. Данилевский); Ростов-Д, лист тополя, 04.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 05.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 06.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 07.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 08.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз.; Ростов-Д, лист тополя, 13.VI.1941, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

Tribe Grapholitini Guenee, 1845

Genus *Grapholita* (Treitschke, 1829)

29. *Grapholita coronillana* (Lienig & Zeller, 1846)

Материал: г. Ростов/Дон, Ботсад, степь, 22.V.1988, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

Genus *Cydia* (Hübner, 1825)

30. *Cydia pyrivora* (Danilevsky, 1947)

Материал: Ростов н/Д, Ботсад, 31.V.1937, leg. В. П. Романова – 1 экз. (det. В. П. Романова).

31. *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758)

Материал: Ростовская обл., г. Новошахтинск, 12.VII.1981, Т. Н. Костарёва – 1 экз.; Ростовская обл., г. Новошахтинск, 15.VII.1981, Т. Н. Костарёва – 1 экз.; Ростовская обл., г. Новошахтинск, 30.VII.1981, Т. Н. Костарёва – 1 экз. (det. Т. Н. Костарёва); Ростов-Дон, центр города, в квартире, 15.III.1989,

leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз.; Ростов/Д, VI.1997, leg. А. Н. Пономаренко – 1 экз. (det. Р. В. Романчук, О. А. Кладковая).

По состоянию на первый квартал 2022 года коллекция листовёрток кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии ЮФУ насчитывает 31 вид из 22 родов в составе двух подсемейств. Общее число единиц хранения составляет 170 экземпляров, в число которых входят: 152 смонтированных имаго (под некоторыми подколоты куколки), 14 смонтированных на плашки частей тела (крылья, головные и грудные отделы тела), 4 пустых булавки с подколотыми географическими и/или определительными этикетками (Рис. 1). Утрата некоторых экземпляров взрослых особей связана с жизнедеятельностью вредителей естественнонаучных коллекций, в первую очередь с *Dermestidae*. Препаратами гениталий снабжены 24 единицы хранения.

В собранном В. П. Романовой сегменте коллекции, имеются несколько «голых» этикеток-табличек с латинскими названиями бабочек без смонтированных экземпляров: *Archips podana* (Scopoli, 1763), *A. crataegana* (Hübner, 1799), *Adoxophyes orana* (Fischer v. Roslerstamm, 1834), *Pandemis cerasana* (Hübner, 1786), *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758), *Grapholita funebrana* (Treitschke, 1835), *Rhyacionia* sp. (здесь нами приведены валидные названия – прим.). Вероятно, они были заготовлены для недостающих видов заранее. В настоящий каталог эти таксоны не включены.

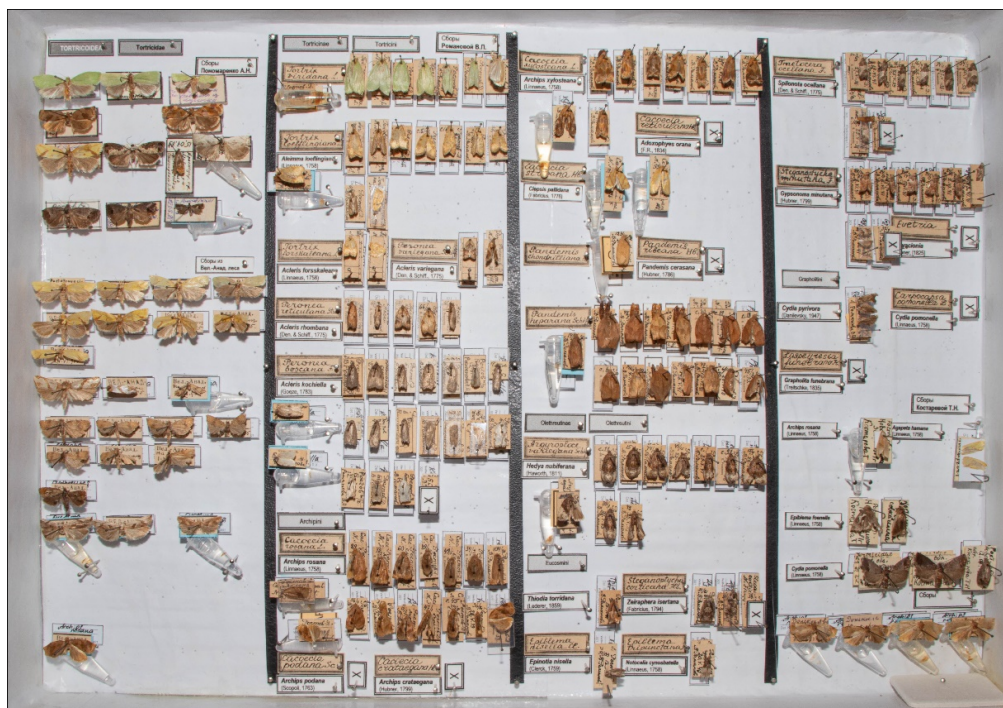


Рис. 1. Общий вид обработанной коллекции листовёрток, размещенной в энтомологической коробке (фото Н. С. Елфимовой).

Содержимое коллекции условно можно разделить на несколько основных частей:

1) Материал начала XX века, собранный неизвестными коллекторами в Великоанадольском лесу и других частях Донецкой области Украины. Характеризуется наличием серий лугово-лесных, лесных и степных мезофильных видов, не имеющих существенного хозяйственного значения (например, *Olethreutes arcuellus*, *Agapeta hamana*), с небольшой долей вредителей древесно-кустарниковых насаждений и плодово-ягодных культур (например, *Celypha striana*, *Archips rosana*).

Великоанадольский лес – искусственно созданный в сухой степи лесной массив, предназначенный для защиты сельскохозяйственных земель от засух и пыльных бурь [21]. Имеет статус заказника государственного значения. Во флористическом составе преобладают смешанные насаждения дуба обыкновенного с ясенем, клёнами, грабом, тополями, липой и различными кустарниковыми растениями [22]. В настоящий момент заказник занимает площадь 2 543 га.

2) Материал В. П. Романовой и коллег, собранный на территории Ботанического сада РГУ в довоенные, военные и послевоенные годы. Характеризуется наличием крупных серий листовёрток-вредителей древесно-кустарниковой растительности и плодово-ягодных культур.

Среди фрагментарных единиц хранения присутствует экземпляр, представляющий собой смонтированные на прозрачные плашки правое верхнее, правое и левое нижние крылья и куколочную шкурку (Рис. 2а). Определительная этикетка написана рукой В. П. Романовой и содержит следующий текст: «*Cydia pyricala* (из ОС АССР), V. Romanova det.». Насекомое было собрано на территории Ботанического сада ЮФУ в мае 1937 года. Видовое название, указанное сборщиком, вызывает некоторые вопросы. Среди листовёрток рода *Cydia* известна плодожорка грушевая (*C. pyrivora*), видовой эпитет которой схож с указанным на этикетке. Данный вид был описан советским энтомологом А. С. Данилевским [23] спустя 10 лет после сбора обсуждаемого экземпляра. Вероятно, В. П. Романовой была допущена ошибка в написании. Состояние единицы хранения не позволяет установить точную видовую принадлежность хотя бы по паттернам рисунка правого верхнего крыла. Сведения, приведённые в каталоге относительно *C. pyrivora*, считаем сомнительными.

Данилевским определены отдельные экземпляры из серий в коллекции Романовой, например, *Archips xylosteana*, *A. rosana*, *Pandemis chondrillana*, *P. heparana*, *Epinotia nisella*, *Notocelia cynosbatella*, *Gypsonoma minutana* (Рис. 2б–г). Александр Сергеевич был крупным учёным с мировым именем, в круг научных интересов которого входили экология, физиология и систематика насекомых. В частности, Данилевский известен разработкой теории фотопериодизма и сезонно-циклических явлений у членистоногих. Результаты его научных изысканий по данной теме были изложены в классической монографии «Фотопериодизм и сезонное развитие насекомых» [24]. Им же была создана новая система палеарктических плодожорок, основанная на особенностях их морфологии и экологии [25].

А. С. Данилевский приходится праправнуком А. С. Пушкину и внучатым племянником Н. В. Гоголю [26].



Рис. 2. А – сомнительный экземпляр листоёртки рода *Cydia*; Б, В, Г – некоторые экземпляры из коллекции В. П. Романовой, определённые А. С. Данилевским (фото Н. С. Елфимовой).

3) Материал, собранный в южных регионах страны ростовскими специалистами и студентами в конце прошлого века, содержащий разрозненные серии листоёрток из Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краёв.

Является результатом несистематического сбора лепидоптерологического материала и студенческой научно-исследовательской деятельности. В сериях представлены лугово-степные, лугово-лесные и лесные мезофильные виды, не имеющие хозяйственного значения (например, *Epiblema foenella*, *Olethreutes arcuellus*, *Eucosma metzneriana*, *Agapeta hamana*), а также вредители древесно-кустарниковых насаждений (*Tortrix viridana*, *Hedya salicella*) и плодово-ягодных культур (*Archips rosana*, *A. xylosteana*, *Cydia pomonella*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коллекция листоёрток кафедры зоологии АБиБ ЮФУ является примером уникального собрания энтомологического материала, долгое время находившегося в фондах музея и нуждавшегося в ревизии. Основа коллекции – материал начала и середины XX века, сбор которого пришёлся на годы таких значимых исторических событий как Первая русская революция 1905–1907 гг. и Великая Отечественная война (объёмные серии листоёрток-вредителей были собраны В. П. Романовой в самый её канун – весной 1941 г.).

Коллекция Tortricidae ЗМ ЮФУ, на данный момент включающая 31 вид, требует пополнения с целью повышения её репрезентативности относительно разнообразия листовёрток на юге России. При этом, даже с текущей степенью укомплектованности, коллекция может быть использована в качестве справочного материала при проведении как таксономических, так и экологических исследований. Это особенно актуально для студентов и молодых энтомологов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность члену Русского энтомологического общества, специалисту по Staphylinidae Э. А. Хачикову за ценные советы в решении насущных исследовательских вопросов, заведующему сектором зообентоса Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») Н. С. Елфимовой за подготовку и цифровую обработку фотоматериала. За уточнение некоторых топонимов благодарим агронома Ростовского филиала ФГБУ «ВНИИКР», специалиста по Heteroptera И. С. Левченко.

Список литературы

1. Полевод В. А. История формирования энтомологических коллекций в музеях Кемеровской области / В. А. Полевод // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2016. – № 2. – С. 41–49.
2. Маталин А. В. Каталог коллекции животных кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Иванковского Южного федерального университета. Сообщение 1. Отряд Жесткокрылые – Coleoptera, семейство жуки – Carabidae, подсемейство скакуны – Cicindelinae / А. В. Маталин, Ю. Г. Арзанов, Э. А. Хачиков // Живые и биокосные системы. – 2019. – № 29. – С. 7. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-29/article-7>
3. Van Nieuwerkerken E. J. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 / E. J. Van Nieuwerkerken, L. Kaila, I. J. Kitching, N. P. Kristensen, D. C. Lees, J. Minet, Ch. Mitter, M. Mutanen, J. C. Regier, T. J. Simonsen, N. Wahlberg, Sh. Yen, R. Zahrir, D. Adamski, J. Baixeras, D. Bartsch, B. Å. Bengtsson, J. W. Brown, S. R. Bucheli, D. R. Davis, J. De Prins, W. De Prins, M. E. Epstein, P. Gentili-Poole, C. Gielis, P. Hättenschwiler, A. Hausmann, J. D. Holloway, A. Kallies, O. Karsholt, A. Y. Kawahara, S. (J. C.) Koster, M. V. Kozlov, J. D. Lafontaine, G. Lamas, J.-F. Landry, S. Lee, M. Nuss, K.-T. Park, C. Penz, J. Rota, A. Schintlmeister, B. Ch. Schmidt, J.-Ch. Sohn, M. A. Solis, G. M. Tarmann, A. D. Warren, S. Weller, R. V. Yakovlev, V. V. Zolotuhin, A. Zwick // Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. – Zootaxa. Auckland, New Zealand: Magnolia Press, 2011. – Vol. 3148. – P. 212–221.
4. Аникин В. В. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Издание 2-е / В. В. Аникин, С. В. Барышникова, Е. А. Беляев, Ю. И. Будашкин, Э. Й. ван Ньюкеркен, О. Г. Горбунов, В. В. Дубатов, К. А. Ефетов, В. В. Золотухин, С. А. Князев, В. Н. Ковтунович, М. В. Козлов, В. С. Кононенко, Ю. А. Ловцова, В. А. Лухтанов, А. Л. Львовский, А. Ю. Матов, В. Г. Миронов, С. В. Недошивина, М. Г. Пономаренко, А. В. Свиридов, С. Ю. Синёв, А. В. Соловьев, А. Н. Стрельцов, Т. А. Трофимова, П. Я. Устюжанин, Д. Ф. Шовкун, Р. В. Яковлев. – Санкт-Петербург: Зоологический институт РАН, 2019. – 448 с.
5. Пестициды.ru. URL: <https://www.pesticide.ru> (дата обращения: 25.11.2021).
6. Загуляев А. К. Определитель насекомых европейской части СССР. Том IV. Чешуекрылые. Первая часть / А. К. Загуляев, В. И. Кузнецов, А. А. Стекольников, И. Л. Сухарева, М. И. Фалькович. – Ленинград: «Наука», 1978. – 712 с.
7. Кузнецов В. И. Насекомые и клещи – вредители сельскохозяйственных культур. Т. III. Чешуекрылые. Часть I / В. И. Кузнецов. – СПб. Наука, 1994. – 316 с.

8. Романчук Р. В. Феромониторинг как современный и эффективный способ фитозащиты / Р. В. Романчук, А. М. Жмырко, Л. В. Шишканова // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика : Материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых ученых АПК, Рассвет, 12–15 мая 2020 года. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – С. 85–90. doi 10.34924/FRARC.2020.1.63889
9. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (дата обращения: 26.11.2021).
10. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды Русского энтомологического общества. – 1876. – Т. 8. – С. 150–226.
11. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды Русского энтомологического общества. – 1908. – Т. 38. – С. 558–618.
12. Романова В. П. Листовёртки и их паразиты на древесных породах в окрестностях г. Ростова-на-Дону / В. П. Романова // Учёные записки Ростовского государственного университета. – 1949. – Т. 15, Вып. 6. – С. 47–61.
13. Романова В. П. Вредные насекомые ботанического сада / В. П. Романова // Сборник трудов Ботанического сада РГУ. – 1956. – Т. 35, Вып. 2. – С. 77–87.
14. Poltavsky A. N. An Inventory of Tortricidae (Lepidoptera) from the Rostov-on-Don province of Russia / A. N. Poltavsky // Zootaxa. – 2015. – Vol. 4048, Iss. 4. – P. 538–552. doi: 10.11646/zootaxa.4048.4.5
15. Романчук Р. В. Экофаунистический обзор листоверток (Lepidoptera: Tortricidae) охраняемого ландшафта «Фоминская дача» Ростовской области. Часть 1: таксономический состав, обилие, распределение по экологическим группам и местообитаниям / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 111–116.
16. Романчук Р. В. Экофаунистический обзор листоверток (Lepidoptera: Tortricidae) охраняемого ландшафта «Фоминская дача» Ростовской области. Часть 2: трофическая приуроченность, широта трофических связей, хозяйственное значение / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – С. 117–121.
17. Razowsky J. Die Tortriciden (Lepidoptera, Tortricidae) Mitteleuropas / J. Razowsky. – Bratislava, 2001. – 320 s.
18. Андрианов А. Моя коллекция бабочек (Чешуекрылые – Lepidoptera) / А. Андрианов // URL: <http://lepidoptera.com.ua/index.htm> (дата обращения: 03.12.2021).
19. Insecta.pro. URL: <http://insecta.pro/ru> (дата обращения: 03.12.2021).
20. Lepiforum. URL: <http://www.lepiforum.de> (дата обращения: 03.12.2021).
21. Дунаева А. К. Создание Великоанадольского леса – рукотворного природного памятника Донбасса / А. К. Дунаева // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». – 2020. – Т. 2, Вып. 12–1. – С. 85–89.
22. Ключко З. Ф. К изучению совков (Lepidoptera: Noctuidae) заказника «Великоанадольский лес» (Украина, Донецкая область) / З. Ф. Ключко // Эверсманния. – 2005. – № 2. – С. 27–32.
23. Данилевский А. С. Новый вид плодовой гусеницы, вредящей груше в европейской части СССР / А. С. Данилевский // Доклады Академии Наук СССР. – 1947. – Том 58, Вып. 7. – С. 1555–1556.
24. Данилевский А. С. Фотопериодизм и сезонное развитие насекомых / А. С. Данилевский. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1961. – 243 с.
25. Данилевский А. С. Листовёртки Tortricidae. Триба плодовой гусеницы Laspeyresini / А. С. Данилевский, В. И. Кузнецов // Фауна СССР. Насекомые чешуекрылые, Т. 5, В. 1, Новая серия, № 98. – Ленинград: Наука, 1968. – 636 с.
26. Некрополь Санкт-Петербурга и окрестностей. Данилевский Александр Сергеевич (1911–1969). URL: <https://nekropol-spb.ru/kladbischa/serafimovskoe-kladbische/danilevskiy-aleksandr-sergeevich> (дата обращения: 10.02.2022).

CATALOGUE OF THE ANIMAL COLLECTION OF THE DEPARTMENT OF
ZOOLOGY OF THE ACADEMY OF BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY
NAMED AFTER D.I. IVANOVSKY OF SOUTHERN FEDERAL UNIVERSITY.
COMMUNICATION 2. ORDER LEPIDOPTERA, FAMILY LEAFROLLER
MOTHS – TORTRICIDAE

Romanchuk R. V.^{1,2,3}, Kladkovaya O. A.^{1,3}

¹Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Testing Laboratory of Rostov Branch of FGBU «VNIIR», Rostov-on-Don, Russia

³Rostov Branch of Russian Entomological Society, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

This paper continues a series of research articles devoted to the description of the taxonomic diversity and cataloging of animals presented in the collections of the Zoology Department Museum of Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University. The museum collection, being a very extensive collection of representatives of the fauna of different regions of the world, enjoys well-deserved attention both from the staff, students and graduate students of the university, and specialists from various educational and scientific organizations, domestic and foreign.

Leafroller moths (Tortricidae) are a worldwide family of small moths from the "microlepidoptera" group. It is one of the largest families in the Lepidoptera order. The world fauna has more than 10 000 species. In Russia, Tortricidae are represented by 156 genera and 1 170 species, which makes it one of the most taxonomically rich butterfly families in our country. Serious pests of horticulture, park, agriculture and forestry are known among leafroller moths, of which more than 100 species develop in Europe. At the same time, the number of economic importance species only increases over the years. It is associated with the active development of new ecological conditions by leafroller moths, which are formed as a result of the economic development of natural landscapes and anthropogenic transformation of ecosystems. Some species, such as *Grapholita molesta* (Busck, 1916), have a quarantine status in the Russian Federation.

The purpose is to provide information about the composition of the Tortricidae collection of the Zoology Department Museum of Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University in the form of an annotated catalog. The tasks included: verification of the taxonomic composition and systematization of the material; determination of the scientific, scientific-practical and historical value of the collection.

As of the first quarter of 2022, the collection of leafroller moths includes 31 species from 22 genera in two subfamilies. The total number of storage units is 170 specimens, which include: 152 mounted adults (pupas are pinned under some), 14 body parts mounted on plates, 4 empty pins with pinned geographical and identification labels.

The subfamily Tortricinae is represented by 14 species: *Tortrix viridana* (Linnaeus, 1758), *Aleimma loeflingiana* (Linnaeus, 1758), *Acleris forsskaleana* (Linnaeus, 1758), *Acleris variegana* (Denis & Schiffermuller, 1775), *Acleris rhombana* (Denis & Schiffermuller, 1775), *Archips rosana* (Linnaeus, 1758), *Archips podana* (Scopoli, 1763),

Archips xylosteana (Linnaeus, 1758), *Clepsis pallidana* (Fabricius, 1776), *Pandemis chondrillana* (Herrich-Schaffer, 1860), *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermuller, 1775), *Agapeta hamana* (Linnaeus, 1758), *Eugnosta magnificana* (Rebel, 1914) and *Phalonidia contractana* (Zeller, 1847).

The subfamily Olethreutinae is represented by 17 species: *Hedya salicella* (Linnaeus, 1758), *Hedya nubiferana* (Haworth, 1811), *Celypha striana* (Denis & Schiffermuller, 1775), *Olethreutes arcuellus* (Clerck, 1759), *Eucosma metzneriana* (Treitschke, 1830), *Eucosma conterminana* (Guenee, 1845), *Eucosma tundrana* (Kennel, 1900), *Epiblema foenella* (Linnaeus, 1758), *Thiodia torridana* (Lederer, 1859), *Zeiraphera isertana* (Fabricius, 1794), *Epinotia nisella* (Clerck, 1759), *Spilonota ocellana* (Denis & Schiffermuller, 1775), *Notocelia cynosbatella* (Linnaeus, 1758), *Gypsonoma minutana* (Hübner, 1799), *Grapholita coronillana* (Lienig & Zeller, 1846), *Cydia pyrivora* (Danilevsky, 1947) and *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758).

The Tortricidae collection requires replenishment in order to increase its representativeness in relation to the diversity of leafroller moths in the south of Russia. At the same time the collection can be used as reference material for both taxonomic and ecological research even with the current level of completion. This is especially true for students and young entomologists.

Keywords: Southern Federal University, Zoology Department, collection fund, moths, Leafroller moths, Lepidoptera, Tortricidae, catalogue.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to a member of the Russian Entomological Society, a specialist in Staphylinidae, E. A. Khachikov for valuable advice in solving urgent research issues. We are also grateful to a head of the Zoobenthos Sector of the Azovo-Chernomorsky branch of the FGBNU "VNIRO" ("AzNIIRKh") N. S. Elfimova for preparation and digital processing of photographic material. For the clarification of some toponyms, we thank the agronomist of the Rostov branch of FGBU "VNIKR", a specialist in Heteroptera I. S. Levchenko.

References

1. Polevod V. A. The history of the formation of entomological collections in the museums of the Kemerovo region, *Bulletin of the Kemerovo State University*, **2**, 41 (2016).
2. Matalin A. V., Arzanov Yu. G., Khachikov E. A. Catalog of the collection of animals of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology. DI. Ivanovo Southern Federal University. Message 1. Order Coleoptera, family Carabidae, subfamily Cicindelinae, *Living and bio-inert systems*, **29**, 7 (2019). URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-29/article-7>
3. Van Nieukerken E. J., Kaila L., Kitching I. J., Kristensen N. P., Lees D. C., Minet J., Mitter Ch., Mutanen M., Regier J. C., Simonsen T. J., Wahlberg N., Yen Sh., Zahiri R., Adamski D., Baixeras J., Bartsch D., Bengtsson B. Å., Brown J. W., Bucheli S. R., Davis D. R., De Prins J., De Prins W., Epstein M. E., Gentili-Poole P., Gielis C., Hättenschwiler P., Hausmann A., Holloway J. D., Kallies A., Karsholt O., Kawahara A. Y., Koster S. (J. C.), Kozlov M. V., Lafontaine J. D., Lamas G., Landry J.-F., Lee S., Nuss M., Park K.-T., Penz C., Rota J., Schintlmeyer A., Schmidt B. Ch., Sohn J.-Ch., Solis M. A., Tarmann G. M., Warren A. D., Weller S., Yakovlev R. V., Zolotuhin V. V., Zwick A. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758, *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, 212–221 (Zootaxa. Auckland, New Zealand: Magnolia Press, 2011).

4. Anikin V. V., Baryshnikova S. V., Beljaev E. A., Budashkin Yu. I., Van Nieuwerkerken E. J., Gorbunov O. G., Dubatolov V. V., Efetov K. A., Zolotuhin V. V., Knyazev S. A., Kovtunovich V. N., Kozlov M. V., Kononenko V. S., Lovtsova Ju. A., Lukhtanov V. A., Lvovsky A. L., Matov A. Yu., Mironov V. G., Nedoshivina S. V., Ponomarenko M. G., Sviridov A. V., Sinev S. Yu., Solovjev A. V., Streltsov A. N., Trofimova T. A., Ustjuzhanin P. Ya., Shovkoon D. F., Yakovlev R. V. *Catalogue of the Lepidoptera of Russia. Edition 2*, 448 (St. Petersburg: Zoological Institute of RAS, 2019).
5. Pesticides.ru. URL: <https://www.pesticity.ru> (accessed: 25.11.2021).
6. Zagulyaev A. K., Kuznetsov V. I., Stekolnikov A. A., Sukhareva I. L., Falkovich M. I. *Key to insects in the European part of the USSR. Volume IV. Lepidoptera. The first part*, 712 (Leningrad: Nauka, 1978).
7. Kuznetsov V. I. *Insects and mites – pests of agricultural crops. T. III. Lepidoptera. Part I*, 316 (St. Petersburg: Nauka, 1994).
8. Romanchuk R. V., Zhmyrko A. M., Shishkanova L. V. Pheromonitoring as a modern and effective method of phytoprotection, *Actual issues of development of branches of agriculture: theory and practice: proceedings of the II All-Russian Conference (with international participation) of young scientists of the Agro-industrial Complex*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Press, 2020), 85. doi: 10.34924/FRARC.2020.1.63889
9. EPPO Global Database. URL: <https://gd.eppo.int> (accessed: 26.11.2021).
10. Alferaki S. N. Lepidoptera in the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **8**, 150 (1876).
11. Alferaki S. N. Lepidoptera in the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **38**, 558 (1908).
12. Romanova V. P. Leafroller moths and their parasites on tree species in the vicinity of Rostov-on-Don, *Scientific Notes of Rostov State University*, **15** (6), 47 (1949).
13. Romanova V. P. Harmful insects of the botanical garden, *Proceedings of the Botanical Garden of the Rostov State University*, **35** (2), 77 (1956).
14. Poltavsky A. N. An Inventory of Tortricidae (Lepidoptera) from the Rostov-on-Don province of Russia, *Zootaxa*, **4048** (4), 538 (2015). doi: 10.11646/zootaxa.4048.4.5
15. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A. Ecofaunal review of leafroller moths (Lepidoptera: Tortricidae) of the "Fominskaya Dacha" Protected Landscape of the Rostov Region. Part 1: taxonomic composition, abundance, distribution by ecological groups and habitats, *Actual problems of ecology and nature management: proceedings*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2021), 111.
16. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A. Ecofaunal review of leafroller moths (Lepidoptera: Tortricidae) of the "Fominskaya Dacha" Protected Landscape of the Rostov Region. Part 2: trophic confinement, breadth of trophic relationships, economic importance, *Actual problems of ecology and nature management: proceedings*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2021), 117.
17. Razowsky J. *Die Tortriciden (Lepidoptera, Tortricidae) Mitteleuropas*, 320 (Bratislava, 2001).
18. Andrianov A. My collection of butterflies (Lepidoptera). URL: <http://lepidoptera.com.ua/index.htm> (accessed: 03.12.2021).
19. Insecta.pro. URL: <http://insecta.pro/ru> (accessed: 03.12.2021).
20. Lepiforum. URL: <http://www.lepiforum.de> (accessed: 03.12.2021).
21. Dunaeva A. K. Creation of the "Velikoanadolsky Les" – a man-made natural monument of Donbass, *Bulletin of the Student Scientific Society of the Donetsk National University*, **2** (12–1), 85 (2020).
22. Klyuchko Z. F. Review of Noctuidae (Lepidoptera) fauna in "Velikoanadolsky Les" Preserve (Ukraina, Donetsk Region), *Eversmannia*, **2**, 27 (2005).
23. Danilevsky A. S. A new species of codling moth harmful to pears in the European part of the USSR, *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, **58** (7), 1555 (1947).
24. Danilevsky A. S. *Photoperiodism and seasonal development of insects*, 243 p (Leningrad: Leningrad State University Publishing House, 1961).
25. Danilevsky A. S., Kuznetsov V. I. *Leafrollers Tortricidae. Tribe Laspeyresiini. Fauna of the USSR*, 636 p (Leningrad: Nauka, 1968).
26. Necropolis of St. Petersburg and environs. Danilevsky Alexander Sergeevich (1911–1969). URL: <https://nekropol-spb.ru/kladbischa/serafimovskoe-kladbische/danilevskiy-aleksandr-sergeevich> (accessed: 10.02.2022).

УДК 598.2(477.75)

НОВЫЕ ВИДЫ ПТИЦ ВЕРХОЯНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Седалищева С. Н.^{1,2}, Исаев А. П.³, Шемякин Е. В.³, Слепцов С. М.³

¹Научно-образовательный центр Академии наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

²Арктического государственного агротехнологического университета, Якутск, Россия

³Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

E-mail: Sargulana_@mail.ru

Статья подготовлена на основе материалов полевых исследований сотрудников ИБПК СО РАН 1986–1996 гг. и орнитологических экспедиций школьников «Верхоянье – полюс холода» с 2006 по 2015 гг. в Верхоянском районе, расположенном на северо-востоке Республики Саха (Якутия). В Верхоянском районе было отмечено 139 птиц: из них 111 видов – гнездящихся; из перелетно-гнездящихся – 87 видов; оседло-гнездящихся – 24; пролетных – 27 видов; залетный – 1 вид. В основном к зимующим птицам относятся 18–19 видов. В Верхоянье наиболее типичными оседлыми птицами являются тундряная и белая куропатки, трехпалый дятел, кукушка, кедровка, ворон, буроголовая и сероголовая гаички. В ходе совершенных научно-исследовательских экспедиций были получены данные о пребывании новых видов в Верхоянском районе, также зарегистрированы залеты птиц *Gavia adamsii*, *Aythya marila*, *Aythya ferina*, *Anas falcate*, *Anas querquedula*.

Ключевые слова: птицы, численность, Верхоянский район Республики Саха (Якутия), новые виды, ареал.

ВВЕДЕНИЕ

Орнитофауна Якутии на сегодня насчитывает 310 видов птиц. За последние 50 лет орнитофауна региона пополнилась 60 видами. Так, только за последние два десятилетия было отмечено в качестве залетных птиц фламинго, красноногий ибис, серый гусь, пеганка, поручейник, светлокрылая крачка, черная крачка, седой дятел, удод, большая синица, пищуха, зяблик, дубонос, скворец, сойка, голубая сорока, белоголовый сип, черный гриф и др., гнездящихся за пределами Якутии [1].

Верхоянский район расположен на северо-востоке Республики Саха (Якутия) за Северным полярным кругом в бассейне реки Яна и ее притоков, относится к группе арктических районов. Граничит с Эвено-Бытантайским, Булунским, Усть-Янским, Момским, Томпонским и Кобяйским районами. Рельеф – горно-таежный. Центральную часть занимает Янское плоскогорье, на западе – хребты Верхоянский, Орулган, на северо-западе – хребты Кулар, на востоке – горные цепи хребта Черского. На территории района находится географический центр Якутии. Площадь территории – 137,4 тыс. кв. км. Расстояние до города Якутска: наземным путем – 1 423 км.; водным путем – 2 785 км.

Свободное проникновение холодного арктического воздуха с севера обуславливает суровый резко-континентальный климат. Это самое холодное место

населенной человеком части Земли и здесь зафиксирован абсолютный рекорд $-68,7^{\circ}\text{C}$. Средняя температура января – от -38 до -48°C , июля – от $+16$ до $+17^{\circ}\text{C}$. Территория района целиком лежит в области вечной мерзлоты, мощность которого составляет 300–500 метров.

Данные о видовом составе новых птиц Верхоянского района приводятся на основании материала, собранного участниками КНИЭШ «Верхоянье – полюс холода» с 2006 по 2017 гг. За эти годы исследованы озеро Намы Эгинского наслега, реки Дулгалах, Адыча и окрестности с. Бетенкес Адычинского наслега, местность Кумах Юттяхского наслега, окрестности с. Томтор Борулахского наслега. Места наблюдений отражены на рисунке 1.

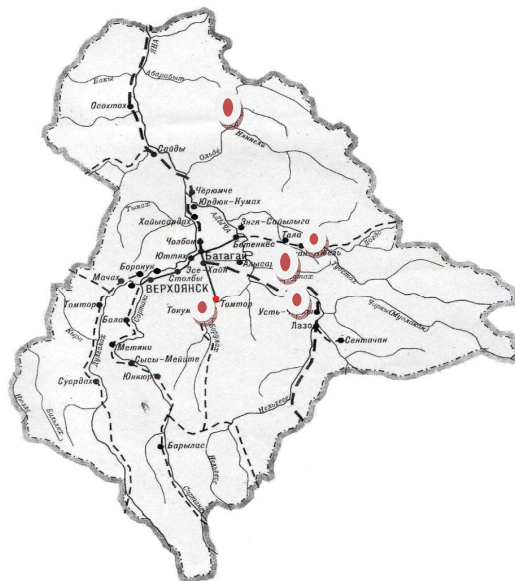


Рис. 1. Места проведения орнитологических наблюдений в Верхоянском районе Республики Саха (Якутия) в 2006–2017 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В последнее столетие, численность и ареал многих птиц складывается под влиянием антропогенных факторов и изменением климатом природы. В связи с этим южные и тундровые редкие птицы населяют северные края и широты Верхоянья.

Судя по литературным данным, в Якутии весной слетаются миллионы птиц со всего мира. На территории Якутии известно обитание 316 видов птиц: из них 272 гнездящиеся виды и 45 залетные виды [1]. На территории Якутии зимуют 48 видов птиц, не менее 200 видов совершают массовые сезонные миграции. Большинство птиц прилетают гнездиться. В Красные книги внесены 63 вида птиц Якутии [2].

По опросным сведениям и нашим наблюдениям, на территории Верхоянского района встречается 139 вида птиц.

Всего в исследуемом районе отмечено 139 птиц. Из них 111 видов – гнездящихся. Из перелетно-гнездящихся – 87 видов, оседло-гнездящихся – 24. Отмечено также 27 видов пролетных и 1 вид залетных птиц (табл. 1).

Таблица 1
Количественное соотношение птиц Верхоянского района по статусам

	Статус	Число видов	% соотношение
Гнездящиеся	Перелетные	87	62,6
	Оседлые	24	17,3
Пролетные		27	19,4
Залетные		1	0,7
ИТОГО:		139	100

К зимующим птицам относятся 18–19 видов. В Верхоянье наиболее типичными оседлыми птицами являются тундряная и белая куропатки, трехпалый дятел, кукушка, кедровка, ворон, буроголовая и сероголовая гаички [3]. В неблагоприятные в кормовом отношении годы такие виды, как чечетка, филин, мохноногий сыч и ястребиная сова встречаются редко. Ястреб-тетеревятник, филин, бородастая неясыть и беркут в годы обилия зайца ведут также оседлый образ жизни.

Сроки пролета птиц тесно связаны с характером развития весны, и, как следствие, довольно переменчивы. При нормальном ходе развития весны пролет рассматриваемых видов птиц продолжается около 40 дней (конец апреля – первая декада июня); основная их масса пролетает между 15 мая и 1 июня. Первыми в долину прилетают ворона, беркут. В конце апреля и первой декаде мая появляются серый журавль, белая трясогузка, бурый дрозд, рябинник, каменка обыкновенная, желтая трясогузка, лапландский подорожник, полярная овсянка, овсянка крошка, овсянка ремез, сизая чайка, серебристая чайка, озерная чайка, шилохвость, чирок свистунок. В конце мая появляются речная крачка, турухтан, хохлатая и морская чернеть, горбоносый турпан, американская синьга, широконожка, бекас, мордунка, розовая чайка, длиннохвостый и короткохвостый поморник, вьюрок, кукушка, ласточки. Массовый пролет птиц наблюдается в конце мая.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В последние десятилетия новыми, но достаточно обычными или регулярно встречающимися в районе видами стали следующие [4, 5]:

Чибис *Vanellus vanellus* (Linnaeus, 1758). Впервые этот кулик в Верхоянском районе был отмечен в июне 1989 г. в долине среднего течения р. Дулгалах охотником-любителем Потаповым К. К. Судя по наблюдениям участников экспедиции, в последние годы он обычен в долине нижнего течения Адычи и постоянно встречается в бассейне Верхней Яны.

Дальневосточный кроншнеп *Numenius madagascariensis* (Linnaeus, 1758). В исследованном районе впервые на гнездовые встречен в 1990 г. в местности

Алысардах в долине среднего течения р. Дулгалах (Находкин, Исаев, 1991). В 2006 г. участниками экспедиции в качестве обычной гнездящейся птицы отмечено в среднем течении р. Адыча. Судя по опросным данным, в последние годы наблюдается некоторое увеличение их численности по всему району.

Большой улит *Tringa mnebularia* (Gunnerus, 1767). Регулярно встречается в осевой части Верхоянского хребта (Борисов, Исаев и др., 1996). Участниками экспедиции в 2006 и 2013 гг. единичные особи отмечены в гнездовой период в Янском плоскогорье в бассейне Адычи.

Кряква *Anas poecilorhyncha* (Linnaeus, 1758). Судя по опросным данным, в Верхоянском районе эти птицы начали встречаться в 60-х годах прошлого столетия. Как малочисленный вид отмечалась она вплоть до 90-гг. (Борисов и др., 2011). В последние десятилетия наблюдается заметное увеличение численности этой утки и в настоящее время вид стал одним из массовой птицы. По данным учетов, проведенных участниками экспедиции в бассейне Адычи в августе 2006 г. численность птиц, составила 6 (уч. Магылла), в начале августа 2013 г. – 4 особей/км² (уч. Аргаа-Ары).

Рябинник *Turdus pilaris*. Ранее на территории района не встречался. Судя по опросным данным, в бассейне Адычи в качестве залетной птицы отмечена с начала 2000-х годов, а несколько позже стала – обычной. По данным учетных работ проведенными участниками экспедиции в начале августа 2013 г. в прибрежных лиственничниках нижнего течения р. Адыча плотность населения птиц составляла 5 особей/км².

В качестве залетных в Верхоянском районе являются следующие виды птиц:

Белоклювая гагара *Gavia adamsii* (ПюКюПкунб 1859). В весенний период 1996 г. одинокую белоклювую гадару наблюдали на оз. Кумах (20 км от п. Батагай).

Морская чернеть *Aythya marila* (Linnaeus, 1758). 2 пары этих птиц отмечены 31 мая 1991 г. в долине среднего течения р. Дулгалах.

Красноголовая чернеть *Aythya ferina* (Linnaeus, 1758). На уч. Алысардах (долина среднего течения р. Адыча) весной 2004 г. отмечен во время пролета.

Касатка *Anas falcate* (Georgi, 1775). В 1991 г. охотником-любителем Ивановым Н. Н. был добыт в окрестностях с. Суордах.

Чирок-трескунок *Anas querquedula* (Linnaeus, 1758). Судя по опросным данным, в 90-х гг. прошлого столетия неоднократно добывался охотниками в долине среднего течения р. Дулгалах, а в последнее время – не отмечается.

Сибирская гага *Polysticta stelleri* (Pallas, 1769). На оз. Намы Эгинского наслега участники экспедиции наблюдали за птицами, которые держались с 25 мая по 6 июня 2015 г.

Обыкновенная гага *Somateria mollissima* (Linnaeus, 1758). В 1996 г. отмечен охотником-любителем Шишигиным С. на уч. Чолбон (в 10 км. от пос. Батагай)

Очковая гага *Somateria fischeri* (J. F. Brandt, 1847). Весной 2000 г. одинокий самец отмечен в окрестностях с. Столбы.

Гага-гребенушка *Somateria spectabilis* (Linnaeus, 1758). По несколько особей были добыты во время весенней охоты 1996 и 2004 гг. на оз. Кумах (в 20 км от пос. Батагай).

Огарь *Tadorna ferruginea* (Pallas, 1769). На территории района весной 1995 г. одинокая самка была добыта в окрестностях п. Столбы.

Серая утка *Anas strepera* (Linnaeus, 1758). В 1995 г. добыт самец в окрестностях с. Бетенкес.

Пеганка *Tadorna tadorna* (Linnaeus, 1758). По сообщению директора Адычинского школьного музея Божедонова Н. Г. добыт в 1994 г. в окрестностях с. Бетенкес.

Белый гусь *Chen caerulescens hyperboreus* (Linnaeus, 1758). Добыт в окрестностях с. Томптор Борулахского наслега в 1970-х гг. (чучело гуся экспонируется в музее Борулахской СОШ). В 2011 г. 4 белых гуся отмечены в окрестностях с. Улахан-Кюель.

Американская синьга *Melanitta Americana* (Swainson, 1832). Весной 2000 г. стая из 6–7 особей отмечены в окрестностях п. Батагай.

Тетерев *Lyrurus tetrix* (Linnaeus, 1758). Судя по опросным данным известны 3 случая залета (в начале 80-х, 1987 и 2002 гг.) в долину среднего течения р. Дулгалах.

Поручейник *Tringa stagnatilis* (Bechstein, 1803). 2 июня 1991 г. в долине среднего течения р. Дулгалах (уч. Билир) были встречены 2 поручейника.

Даурский журавль *Grus vipio* (Pallas, 1811). По сообщению инспектора Миронова В. Е. на местности Баттымах (в 4 км. от поселка Батагай) одна птица держалась с 25 августа по 25 сентября 2014 г.

Красавка *Anthropoides virgo* (Linnaeus, 1758). Встречены участниками экспедиции школьников весной 2010 г. в окрестностях оз. Намы.

Моевка *Rissatri dactyla* (Linnaeus, 1758). Встречен в июле 1989 г. на оз. Илдьиркей.

Розовая чайка *Rhodostethia rosea* (MacGillivray, 1842). Впервые эти чайки отмечены в 2001 г. оз. Намы экологической экспедицией школьников организованной учителем Эгинской СОШ Рожиной С. С. На этом же озере в конце мая 2015 г. участники экспедиции школьников «Верхоянье – полюс холода» наблюдали держащуюся в течение 3–4 дней многочисленную стаю чаек (более 100 особей).

Белокрылая крачка *Chlidonias leucopterus* (Temminck, 1815). Встречена весной 2010 г. на оз. Намы. В середине июня 2010 г. несколько птиц держались в окрестностях с. Улахан-Кюель и на уч. Таала Табалахского наслега.

Обыкновенный зимородок *Alcedo atthis* (Linnaeus, 1758). На осевой части Верхоянского хребта отмечен 24 июля 1989 г.

Удод *Uripa eops* (Linnaeus, 1758). В 2014 г. отмечен случай залета в бассейн Яны.

Деревенская ласточка *Hirundo rustica* (Linnaeus, 1758). Встречена в окрестностях уч. Осохтох Эгинского наслега в начале июня 2010 г.

Буроголовая гаичка *Parus montanus* (Baldenstein, 1827). Нередок в бассейне р. Адыча. Встречен в окрестностях г. Верхоянска в 2011 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые отмеченных видов в Верхоянском районе обнаружено 37: из них совсем новые птицы – 4 (чибис, дальневосточный кроншнеп, большой улит, рябинник); залетные – 25; другие виды – 8.

За последние годы природа Якутии интенсивно меняется в связи с гигантским размахом хозяйствования и использования природных ресурсов, также с изменениями климата, катаклизмами самой природы. Численность и ареал многих птиц складывается под влиянием антропогенных факторов и изменением климатом природы. В связи с этим южные и тундровые редкие птицы населяют северные края и широты Верхоянья.

По сравнению с предыдущими годами в Верхоянском районе увеличивается залеты серощекой поганки, кряквы, пискульки, лебедь-кликун, городской ласточки. Сокращение численности отмечаются у таежного гуменника, шилохвости, черной казарки, кроншнеп-малютки.

Причинами появления новых видов птиц являются на наш взгляд:

- расширяющие ареалы, из-за увеличения плотности населения птиц в местах обитания;
- освоение новых территорий из-за нехватки пищи в местах обитания;
- природные катаклизмы;
- перемена мест обитания, из-за увеличения количества других видов.

БЛАГОДАРНОСТИ

В сборе материала принимали участие также учителя и школьники школ Верхоянского района Захаров Н. Е., Цырендопопова З. Н., Седалищева С. Н., Слепцов М. А. и др., которым авторы приносят благодарности.

Список литературы

1. Находкин Н. А. Птицы Якутии: полевой справочник. / Находкин Н. А., Гермогенов Н. И., Сидоров Б. И. – Якутск, 2008. – С. 384.
2. Находкин Н. А. Орнитологические исследования системы озер Алысардаах / Находкин Н. А., Исаев А. П. // Орнитологические проблемы Сибири. – 1991. – С. 150–152.
3. Борисов З. З. Видовой состав летнего населения птиц в горах Центрального Верхоянья / Борисов З. З., Исаев А. П., Яковлев Ф. Г., Борисов Б. З., Луковцев Ю. С., Гаврильев И. П. // Популяционная экология животных Якутии: Сборник научных трудов. – 1996. – С.80–91.
4. Кривошеев В. Г. Новые материалы по авиафауне бассейна Яны / Кривошеев В. Г. // Орнитология. – 1960. – Вып. 3. – С. 98–105.
5. Борисов З. З. Распространение фауны гнездящихся птиц Верхоянского хребта / Борисов З. З., Исаев А. П., Борисов Б. З. // Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций. Труды института систематики и экологии животных СО РАН. – 2011. – Вып. 47. – С. 52–78.

NEW BIRD SPECIES OF THE VERKHoyANSKY DISTRICT OF THE
REPUBLIC OF SAHA (YAKUTIA)

Sedalishcheva S. N.^{1,2}, Isaev A. P.³, Shemyakin E. V.³, Sleptsov S. M.³

¹*Scientific and Educational Center of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia),
Yakutsk, Russia*

²*Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia*

³*Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia*

E-mail: Sargulana_@mail.ru

The article was prepared on the basis of field research materials of the staff of the IPC SB RAS in 1986–1996. and ornithological expeditions of schoolchildren «Verkhoyanye – the Pole of Cold» from 2006 to 2017 in the Verkhoyansk region located in the northeast of the Republic of Sakha (Yakutia). Judging by the literary data, millions of birds from all over the world flock to Yakutia in spring. 316 species of birds are known to inhabit the territory of Yakutia: 272 of them are nesting species and 45 are vagrant species. 48 species of birds winter in Yakutia, at least 200 species make massive seasonal migrations. Most birds come to nest. 63 bird species of Yakutia are listed in the Red Data Books. According to survey data and our observations, 139 species of birds are found on the territory of the Verkhoyansk region. Data on the species composition of new birds in the Verkhoyansk region are given on the basis of material collected by the participants of the KNIESh «Verkhoyanye – the Pole of Cold» from 2006 to 2017. Over the years, Lake Namy of the Eginsky nasleg, the Dulgalakh, Adycha rivers and the surroundings of the village have been explored. Betenkes of the Adychinsky nasleg, the area of Kumakh of the Yuttyakh nasleg, the vicinity of the village. Tomtor Borulakhskogo nasleg. Thus in the Verkhoyansk region, 139 birds were noted: 111 of them are nesting species; from migratory-nesting – 87 species; settled-nesting – 24; migratory – 27 species; vagrant – 1 species. Basically, 18–19 species belong to wintering birds. In Verkhoyansk, the most typical sedentary birds are the tundra and ptarmigan, the three-toed woodpecker, the kuksha, the nutcracker, the raven, the brown-headed and gray-headed chickadees. In feeding-unfavorable years, species such as the tap-doo, eagle owl, boreal owl, and hawk-owl are rare. The goshawk, the eagle owl, the gray owl and the golden eagle in the years of the abundance of the hare also lead a sedentary lifestyle. The timing of the passage of birds is closely related to the nature of the development of spring, and, as a result, is quite variable. During the normal course of spring development, the migration of the bird species under consideration lasts about 40 days (end of April – first ten days of June); most of them fly between May 15 and June 1. The first to arrive in the valley are the crow, the golden eagle. Mass passage of birds is observed at the end of May. Compared to previous years, the number of gray-cheeked grebe, mallard, lesser white-fronted grebe, whooper swan, and barn swallow is increasing in the Verkhoyansk region. A decrease in the number is noted in the taiga bean goose, pintail, black goose, baby curlew. In the course of perfect research expeditions, new data were obtained on the presence of new species in the Verkhoyansk region, and new flights of birds *Gavia adamsii*, *Aythya marila*, *Aythya ferina*, *Anas falcata*, *Anas querquedula* were also recorded.

Keywords: birds, abundance, Verkhoyansk region of the Republic of Sakha (Yakutia), new species, range.

References

1. Nakhodkin N. A., Germogenov N. I., Sidorov B. I. *Birds of Yakutia: a field guide*, 384. (Yakutsk, 2008).
2. Nakhodkin N. A., Isaev A. P. Ornithological studies of the Alysardaakh lake system, *Ornithological problems of Siberia*, 150 (Barnaul, 1991).
3. Borisov Z. Z., Isaev A. P., Yakovlev F. G., Borisov B. Z., Lukovtsev Yu. S., Gavriliev I. P. Species composition of the summer population of birds in the mountains of Central Verkhoyansk, *Population ecology. animals of Yakutia: Collection of scientific papers*, 80 (Yakutsk, 1996).
4. Krivosheev V. G. New materials on the avifauna of the Yana basin, *Ornithology*, **3**, 98 (1960).
5. Borisov Z. Z., Isaev A. P., Borisov B. Z. Distribution of the fauna of nesting birds of the Verkhoyansk Range, Birds of Siberia: structure and dynamics of fauna, populations and populations, *Proceedings of the Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS*, **47**, 52 (2011).

УДК 631.828: [631.4+633.11 «321»]

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИОДСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ НА ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Селюк М. П.¹, Гаврилец Т. В.¹, Матенькова Е. А.¹, Суботялов М. А.²

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

E-mail: selyuck.marina@yandex.ru

Изучено влияние иода на численность почвенных микроорганизмов, супрессивность и фитосанитарное состояние почвы в отношении основного возбудителя корневой гнили яровой пшеницы *Bipolaris sorokiniana*. Исследования проводили в Новосибирской области в учебно-опытном хозяйстве «Практик» Новосибирского ГАУ. Почвенный покров – чернозем выщелоченный. При возделывании яровой пшеницы сорта Обская 2 применяли основные технологические операции, соответствующие зональной системе земледелия. Предшественник – чистый пар. Иод входил в состав минерального удобрения Агроцен. Применение Агроцена положительно влияло на изучаемые параметры здоровья почвы, а также на рост и развитие растений яровой пшеницы. Выявлено фитосанитарное действие Агроцена против популяции *Bipolaris sorokiniana* в почве, также отмечено повышение уровня супрессивности почвы. Влияние иода на группы почвенных микроорганизмов было неоднозначным. Произошло увеличение числа почвенных сапротрофных грибов и актиномицетов в 2 раза, количество целлюлозолитических микроорганизмов увеличилось в 2,8 раза. Численность бактерий, усваивающих минеральные и органические формы азота, колебалось по вариантам. Растения яровой пшеницы благоприятно восприняли применение удобрения, биологическая урожайность в вариантах с применением Агроцена была максимальной, а развитие корневой гнили снижалось.

Ключевые слова: Минеральное удобрение, фитосанитарное состояние, корневая гниль, урожайность.

ВВЕДЕНИЕ

Для России проблема иодного дефицита чрезвычайно актуальна, так как более 70 % территории страны имеют недостаток иода в воде, почве и продуктах питания местного происхождения. Кроме того, избыток, недостаток или дисбаланс микроэлементов в системе почва-растение-животное (человек) негативно сказывается на здоровье населения, живущего в данном регионе [1, 2]. Иод является необходимым компонентом синтеза тиреоидных гормонов в щитовидной железе, регулирующих скорость биохимических реакций во всех клетках органов и тканей человека и животных [3, 4].

Известно, что органическое вещество почвы играет доминирующую роль в процессах аккумуляции иода. Проведенные исследования в Западной Сибири показали, что наиболее бедны иодом почвы северных территорий. Подзолистые и дерново-подзолистые почвы средней и южной тайги, а также серые почвы северной лесостепи содержат иода значительно больше, однако его количество остается недостаточным. В зональных почвах лесостепной и степной зон – черноземах

содержание иода в гумусовом горизонте достаточное. При продвижении в зону сухих степей содержание иода в почвах снижается [5–8].

Одним из перспективных способов решения проблемы недостатка микроэлементов в почве, растениях, соответственно в пище животных и человека, является их применение в сельскохозяйственном производстве, в частности, агрохимический метод [9].

Микроэлементы необходимы для нормального развития растений, однако потребность их выражается в небольших количествах, без которых они могут погибнуть или будут плохо развиваться. Это связано с тем, что микроэлементы входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и влияют на их активность. Вопрос обогащения иодом растительной продукции в целях профилактики иодной недостаточности имеет научный интерес давно. Агрохимический способ обогащения растений микроудобрениями, содержащими иод, является перспективным, так как он позволяет перевести микроэлемент в безопасную и доступную форму, улучшить урожайность и качество растениеводческой продукции [1, 10].

Микроудобрения на основе иода могут использоваться для повышения продуктивности культурных растений и качества урожая, для увеличения содержания в них микроэлементов, что в свою очередь приведет к улучшению микроэлементного статуса региона [11].

Яровая пшеница играет ведущую роль в мировом земледелии, занимая первое место по площади посева и валовому сбору зерна, и является основной продовольственной культурой в Российской Федерации. Важнейшей задачей современного растениеводства является повышение качественных и количественных показателей производства зерна яровой пшеницы. Введение в агротехнологию новых сбалансированных минеральных удобрений, обеспечивающих увеличение качества зерна и урожайности яровой пшеницы, оптимизацию плодородия почвы является актуальным и практически значимым [12].

Среди фитосанитарных проблем в технологиях возделывания яровой пшеницы особую значимость имеют корневые гнили, которые ежегодно снижают урожайность яровой пшеницы на 25 % и более, вызывая изреживание посевов, угнетение роста, нарушение динамики органогенеза растений, ухудшение формирования элементов структуры урожайности, значительное снижение качества продукции [13–16].

Действие иода на фитосанитарное состояние почвы в отношении основного возбудителя корневых гнилей яровой пшеницы, а также на микробиологическую активность и супрессивность в лесостепи Приобья изучено недостаточно. Поэтому исследования по изучению обогащения зерновых культур микроэлементами на почвах Западной Сибири имеют особую актуальность [17, 18].

В связи с вышесказанным, целью исследований являлась оценка влияния иодсодержащего удобрения Агроцен на компоненты почвенного биоценоза и развитие корневой гнили яровой пшеницы в лесостепи Приобья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Влияние иода на фитосанитарное состояние почвы, ее микробиологическую активность, супрессивность изучали в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Новосибирского государственного аграрного университета «Практик». Почвенный покров – чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусовый с содержанием гумуса 4,5–5,5 %, pH 6,6.

При возделывании яровой пшеницы сорта Обская 2 применяли основные технологические операции, соответствующие зональной системе земледелия. Предшественник – чистый пар. Норма высева 5,5 млн шт/га. Перед посевом часть семян обрабатывали иодсодержащим удобрением (1 л/т). Глубина посева 3–4 см. Посев культуры осуществляли 20 мая сеялкой СС-11. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения – аммиачная селитра в дозе 30 кг д.в./га. В течение вегетации одну половину площади опыта обрабатывали баковой смесью гербицидов Тигран (0,7 л/га) и Опричник (7 г/га), а другую половину – баковой смесью иодсодержащего удобрения (0,4 л/га) с этими гербицидами. Опрыскивание посевов проводили с помощью тракторного опрыскивателя ОПШ-15 с нормой расхода рабочего раствора 200 л/га.

В качестве иодсодержащего удобрения использовали Агроцен. Агроцен – это жидкое минеральное иодсодержащее удобрение, с добавлением микроэлементов: калий, магний, селен, цинк (pH 6–7) [18].

Схема эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1

Схема полевого эксперимента по изучению влияния Агроцена на показатели почвенного здоровья и растения яровой пшеницы

№ п/п	Вариант
1	Необработанные семена (контроль)
2	Необработанные семена +Агроцен по вегетации (0,4л/га)
3	Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)
4	Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) +Агроцен по вегетации (0,4 л/га)

Лабораторные эксперименты проводили по общепринятым методикам. Численность микроорганизмов учитывали методом почвенных разведений [19], заселенность почвы конидиями *Bipolaris sorokiniana* – методом флотации [20, 21], учет корневой гнили по В. А. Чулкиной [21]. Определение супрессивности почвы проводили новым методом [22]. Биологическую урожайность яровой пшеницы считали по методике определения элементов структуры урожая [21].

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов [23] с использованием пакетов программ SNEDECOR [24] и STATISTICA 6.0 для Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внедрение адаптивно-ландшафтных систем и биологизации земледелия, оптимизации управления в агроэкосистемах режимами и балансом биофильных элементов, органического вещества, иные ландшафтно-мелиоративные мероприятия, в том числе минеральных удобрений, требует комплексной оценки здоровья почв по фитосанитарным и экологическим параметрам, среди которых важную роль играют показатели заселенности зональных почв патогенными микромицетами [5, 10, 25–27]. Высокий инфекционный потенциал возбудителей корневых гнилей в почве обуславливает сезонную и многолетнюю динамику эпифитотического процесса и является решающим стартовым фактором развития почвенных инфекций [28].

Мы использовали показатель почвенной плотности конидий *B. sorokiniana* в качестве индикатора, отражающего влияние Агроцена на фитопатогенный микоченоз почвы, ее микробиологическую активность и супрессивность (табл. 2–5).

Из данных таблицы 2 видно, что биоченоз почвы насыщен конидиями *B. sorokiniana*. Превышение ПВ (30 шт./1 г возд.-сух. почвы) в среднем по образцам составило 2,7 раза. Самая высокая плотность конидий патогенного микромицета в почве отмечена в контрольном варианте.

Таблица 2

Влияние Агроцена на плотность конидий *B. sorokiniana* в почве

№ п/п	Вариант	Общее число конидий/1 г. возд.-сух. почвы	Доля деградированных конидий, %
1	Необработанные семена (контроль)	105	24,0
2	Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	75	67,0
3	Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	80	24,0
4	Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	55	39,0
НСР ₀₅		4,7	

Превышение ПВ в фазу полной спелости яровой пшеницы составило 3,5 раза, что соответствует уровню эпифитотии. Максимальная доля деградированных конидий в популяции фитопатогена отмечена в вариантах с применением Агроцена по вегетации.

Высокий инфекционный потенциал *Bipolaris sorokiniana* в почве обусловлен ежегодным массовым размножением фитопатогена на прикорневых листьях пшеницы, начиная с фазы налива культуры и хорошей выживаемостью конидий на растительных остатках [29, 30].

Плотность конидий *B. sorokiniana* в варианте с обработанными Агроценом семенами была (более чем в 2 раза) выше по сравнению с вариантом (обработанные семена + Агроцен). Минимальная плотность конидий отмечена также в этом варианте. Биологическая эффективность при двойном применении Агроцена (обработанные семена + Агроцен) составила 48 %, при применении Агроцена в течение вегетации биологическая эффективность составила 29 %.

Это объясняется тем, что применение минерального удобрения на основе иода повысило устойчивость вегетирующих растений к фитопатогену, а также произошла дезинфекция семян при их обработке и в почве. Об этом говорит и невысокое поражение растений корневыми гнилями (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние Агроцена на развитие корневой гнили яровой пшеницы сорта
Обская 2 в середине вегетации, %**

Вариант	Среднее по органам				Среднее по растению
	Перв. корни	Эпикотиль	Втор. корни	Осн. стебля	
Необработанные семена (контроль)	7,2	7,9	7,3	2,7	6,3
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	6,7	6,7	7,3	2,1	5,7
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	3,1	5,5	3,6	1,9	3,5
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	2,4	2,6	2,6	1,7	2,3
НСР ₀₅					2,2

В середине вегетации развитие корневой гнили яровой пшеницы в условиях применения Агроцена было на низком уровне. Ни в одном из вариантов не был достигнут порог вредоносности (ПВ=15 %).

Максимальное развитие болезни отмечено в варианте с необработанными семенами – 6,3 %, минимальное развитие болезни – в варианте с обработанными семенами и примененным Агроценом по вегетации. Поражение подземных органов было примерно на одном уровне 4,9–5,8 %, что также ниже ПВ. Минимально было поражено основание стебля растений. Биологическая эффективность Агроцена в варианте с его двойным применением по сравнению с контрольным вариантом составила 63,5 %.

К концу вегетации развитие корневой гнили усилилось, однако ПВ ни в одном из вариантов не был достигнут (табл. 4).

В контрольном варианте развитие болезни составило 14,6 %. Оно было максимальным, минимальным – в варианте с обработанными семенами и Агроценом по вегетации – 9,7 %. Биологическая эффективность Агроцена составила 33,6 %.

Согласно литературным данным, сезонная динамика развития корневой гнили яровой пшеницы с резким усилением ЭП болезни на начальных фазах развития растений, предъявляет повышенные требования к качеству семян и технологии их посева. Для преодоления критического для растений периода развития, когда они наиболее восприимчивы к биотическим и абиотическим стрессорам, следует максимально повышать качество семян агротехническими (калибровка, обогрев) и химическими (протравливание, регуляторы роста) приемами, а также рациональное применение удобрений [13, 28].

Таблица 4

**Влияние Агроцена на развитие корневой гнили яровой пшеницы сорта
Обская 2 в конце вегетации, %**

Вариант	Среднее по органам				Среднее по растению
	Перв. корни	Эпикотиль	Втор. корни	Осн. стебля	
Необработанные семена (контроль)	13,1	10,6	11,3	9,5	14,6
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	15,8	13,5	14,0	12,2	12,7
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	22,8	20,5	19,6	14,5	12,3
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	6,5	4,7	6,0	2,7	9,7
НСР ₀₅					8,2

Была выявлена высокая корреляционная зависимость между плотностью конидий *B. sorokiniana* в почве и развитием корневой гнили яровой пшеницы в середине ($r = 0,812 \pm 0,412$) и в конце вегетации ($r = 0,969 \pm 0,174$), что свидетельствует о тесной связи обсуждаемых показателей в лесостепи Приобья.

По литературным данным применение минеральных удобрений может увеличивать супрессивность и микробиологическую активность почвы [1, 15]. Заселенность почв фитопатогенами была тесно связана с показателем супрессивности, поэтому были проведены учеты этого показателя (табл. 5).

Согласно данным таблицы, уровень супрессивности почвы возрастал во всех вариантах, где был применен Агроцен. Максимальный уровень супрессивности отмечен в варианте с обработанными семенами и Агроценом по вегетации, что говорит о его благоприятном действии на почвенных антагонистов. Уровень супрессивности почвы был на среднем и сильном выраженном уровне. Выявлена высокая отрицательная зависимость между плотностью конидий *B. sorokiniana* в почве и ее супрессивностью $r = -0,965 \pm 0,184$, что говорит о важной роли антагонистов в контроле почвенных инфекций.

Микроорганизмы – очень чуткие индикаторы, резко реагирующие на различные изменения в среде.

Таблица 5

**Супрессивность почвы против *Bipolaris sorokiniana* в условиях применения
Агроцена, %**

Вариант	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	
	абс.	отклонение
Необработанные семена (контроль)	51,9	-
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	56,9	9,6
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	57,8	11,4
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	65,4	26,0
НСР ₀₅	0,6	

Отсюда высокая динамичность микробиологических показателей. Согласно исследованиям Синдиревой А. В и др. [17] действие иода на группы почвенных микроорганизмов было неоднозначным. Так, благоприятнее всего микроэлемент влиял на численность олигонитрофилов, она возрастала при небольших концентрациях иода. Иод благоприятно воздействовал и на нитрификаторов, их численность возрастала в среднем на 18,6 % по сравнению с контролем. Однако, количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов под влиянием иода снижалось. Действие этого микроэлемента положительно сказалось и на увеличении числа микроскопических грибов.

Влияние Агроцена на группы почвенных микроорганизмов на выщелоченном черноземе представлено в таблицах 6–7.

Таблица 6

**Численность микроскопических грибов в почвенных образцах в условиях
применения Агроцена, КОЕ/г почвы**

Вариант	Грибы	
	ЧА×10 ⁴	ГС×10 ⁵
Необработанные семена (контроль)	11,7	19,0
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	20,0	22,7
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	24,7	24,3
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) +Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	23,0	53,3
НСР ₀₅	1,4	1,4
*ЧА – агар Чапека; ГС – среда Гетчинсона		

Результаты исследований свидетельствуют о значительном влиянии иода на численность микроскопических грибов. Сапротрофные микромицеты на ЧА в максимальном количестве были представлены в варианте с обработанными семенами и варианте с двойным применением Агроцена. Их число увеличилось в среднем в 2 раза. Численность грибов на ГС была максимальной в варианте с двойным применением Агроцена. Их количество увеличилось в 2,8 раза по сравнению с вариантом без применения иодсодержащего удобрения. Таким образом, применение препарата Агроцен способствует увеличению численности микромицетов в почве.

Коэффициенты корреляции между развитием корневой гнили яровой пшеницы и численностью грибов на ЧА равен $r = -0,659 \pm 0,451$, между развитием корневой гнили яровой пшеницы и количеством грибов на ГС $r = -0,928 \pm 0,263$. Действие иода на почвенных бактериях и актиномицетов представлено в таблице 7.

Таблица 7

Численность бактерий и актиномицетов в образцах в условиях применения Агроцена, КОЕ/г почвы

Вариант	Бактерии		Актиномицеты
	КАА $\times 10^5$	МПА $\times 10^5$	КАА $\times 10^5$
Необработанные семена (контроль)	26,7	17,0	-
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	63,7	34,7	5,7
Обработанные семена Агроценом (1,0л/г)	28,3	19,7	8,0
Обработанные семена Агроценом (1,0л/г) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	52,7	19,3	10,0
НСР ₀₅	5,3	1,1	1,7
*КАА – крахмало-аммиачный агар МПА – мясopептонный агар			

Максимальная численность почвенных бактерий, потребляющих как минеральный, так и органический азот отмечена в варианте с применением Агроцена по вегетации. Увеличение составило 2,4 и 2 раза соответственно. Их минимальная численность представлена в варианте без применения иодсодержащего удобрения. Коэффициент корреляции между численностью микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота, и развитием корневых гнилей яровой пшеницы составил $r = -0,491 \pm 0,615$, что свидетельствует о наличии умеренной отрицательной связи между этими показателями.

Количество почвенных актиномицетов также возрастало после применения удобрения. Эта группа почвенных микроорганизмов характеризуется значительно более медленным ростом и весьма устойчива ко многим негативным воздействиям со стороны среды. Учитывая, что актиномицеты играют важную роль в процессе почвообразования и участвуют в разложении недоступных для бактерий трудно гидролизуемых соединений, это может приводить к повышению плодородия почвы. Так, в варианте без применения Агроцена актиномицетов вообще не выявлено.

Далее по вариантам идет нарастание их численности. Коэффициент корреляции между количеством актиномицетов и развитием корневых гнилей яровой пшеницы составил $r = -0,929 \pm 0,261$, что свидетельствует о наличии высокой отрицательной связи между этими показателями.

Полученные результаты биологической урожайности яровой пшеницы представлены в таблице 8.

Таблица 8

Урожайность яровой пшеницы сорта Обская 2 в условиях применения Агроцена

Вариант	Биологическая урожайность, ц/га
Необработанные семена (контроль)	29,1
Необработанные семена + Агроцен по вегетации (0,4л/га)	35,3
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т)	38,1
Обработанные семена Агроценом (1,0л/т) + Агроцен по вегетации (0,4 л/га)	47,5
НСР ₀₅	6,2

Данные таблицы свидетельствуют, что урожайность в значительной мере зависела от применения иодсодержащего удобрения. Наиболее высокой урожайность была после двойного применения Агроцена, она превышала контрольный вариант без обработки удобрением на 63,5 %. Выявлена высокая отрицательная корреляционная зависимость между развитием корневой гнили яровой пшеницы и урожайностью ($r = -0,997 \pm 0,049$), между урожайностью и плотностью конидий *B. sorokiniana* в почве ($r = -0,951 \pm 0,217$), что еще раз подтверждает необходимость поддержания благоприятного фитосанитарного состояния почвы для реализации продукционного потенциала яровой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение иодсодержащего удобрения Агроцен положительно влияет на изучаемые параметры здоровья почвы, а также на рост и развитие яровой пшеницы.
2. Применение Агроцена снижает плотность конидий *B. sorokiniana*, увеличивает уровень супрессивности почвы. Выявлена высокая отрицательная зависимость между плотностью конидий *B. sorokiniana* в почве и ее супрессивностью $r = -0,965 \pm 0,184$, что говорит о важной роли антагонистов в контроле почвенных инфекций.
3. Внесение препарата Агроцен повышает численность почвенных микроорганизмов. Максимальное увеличение количества бактерий, усваивающих органические и минеральные формы азота, отмечено в варианте с применением препарата по вегетации.

4. За счет внесения препарата Агроцен развитие корневых гнилей не достигает ПВ. Выявлены средние и высокие отрицательные зависимости между развитием корневой гнили и численностью грибов на ЧА ($-0,659 \pm 0,45$), между развитием корневой гнили и количеством грибов на ГС ($-0,928 \pm 0,263$), между развитием корневой гнили и супрессивностью почвы ($-0,965 \pm 0,184$).
5. Урожайность в значительной мере зависела применения иодсодержащего удобрения. Наиболее высокой урожайность была после двойного применения Агроцена, она превышала контрольный вариант без внесения удобрения на 63,5 %.

Список литературы

1. Синдирева А. В. Микробиологическая активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы в условиях применения иода / А. В. Синдирева, О. Ф. Хамова, О. В. Степанова // Вестник ОмГАУ. – 2015а. – № 3(19). – С. 25–30.
2. Ходжаерова Г. Р. Перспективы изучения химических свойств физиологически активных соединений. Количество иода в почве / Г. Р. Ходжаерова, Х. С. Мамадиярова // Современные инновации. – 2016. – № 6(8). – С. 14–15.
3. Трошина Е. А. Функциональная автономия щитовидной железы / Е. А. Трошина, Ф. М. Абдулхабирова, П. В. Юников // Рос. мед. журн. – 2006. – № 1. – С. 44–45.
4. Савченков М. Ф. Иод и здоровье населения Сибири / М. Ф. Савченков, В. Г. Селятицкая, С. И. Колесников. – Новосибирск: Наука, 2002. – 286 с.
5. Конарбаева Г. А. Валовое содержание и распределение иода в профиле некоторых почв Западной Сибири / Г. А. Конарбаева // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С. 66–73.
6. Конарбаева Г. А. Иод в гумусовом веществе почв юга Западной Сибири / Г. А. Конарбаева, В. В. Демин // Агрохимия. – 2011. – № 8. – С. 73–80.
7. Конарбаева Г. А. Пространственно-генетические особенности распределения иода в почвах Западной Сибири / Г. А. Конарбаева, Б. А. Смоленцев // Агрохимия. – 2018. – № 7. – С. 85–96.
8. Конарбаева Г. А. Поглощательная способность серой лесной почвы по отношению к иоду / Г. А. Конарбаева, В. Н. Якименко // Агрохимия. – 2019. – № 2. – С. 52–59.
9. Ермохин Ю. И. Основные критерии агроэкологической оценки действия микроэлементов в системе почва – растение – животное / Ю. И. Ермохин, А. В. Синдирева // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 3. – С. 19–22.
10. Синдирева А. В. Экологическая оценка влияния иодсодержащих удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области / А. В. Синдирева, Е. Г. Кекина, О. В. Степанова // Вестник ОмГАУ. – 2016. – № 1(42). – С. 41–46.
11. Побилат А. Е. Мониторинг иода в системе «почва-растение» (обзор) / А. Е. Побилат, Е. И. Волошин // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 10. – С. 101–108.
12. Догадина М. А. Агроэкологическая оценка применения минерального удобрения Агрилайф на яровой пшенице / М. А. Догадина, А. В. Таракин, Н. И. Ботуз, А. В. Стебаков // Вестник аграрной науки. – 2021. – № 3(9). – С. 49–57.
13. Селюк М. П. Влияние агроэкологических факторов на развитие корневой гнили яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 06.01.07 / М. П. Селюк. – Санкт-Петербург, 2017. – 22 с.
14. Sukhomlinov V. Yu. Spring wheat varieties resistance to the common root rot / V. Yu. Sukhomlinov, E. Yu. Toropova // Plant genetics, genomics, bioinformatics, and biotechnology (plantgen2021). – Novosibirsk, 2021. – С. 211.
15. Торопова Е. Ю. Фактологические критерии оценки здоровья сибирских почв / Е. Ю. Торопова, А. Е. Кудрявцев, Г. Я. Стецов, М. П. Селюк // Агрохимия. – 2020. – № 5. – С. 3–11.
16. Торопова Е. Ю. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы / Е. Ю. Торопова, И. Г. Воробьева, Г. Я. Стецов, О. А. Казакова, А. А. Кириченко // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 6. – С. 25–32.

17. Синдирева А. В. Влияние иода на микробиологическую активность и фитотоксичность лугово-черноземной почвы / А. В. Синдирева, О. В. Степанова, О. Ф. Хамова // Вестник ОмГАУ. – 2015б. – № 2. – С. 252–256.
18. Официальный сайт компании ВетАгроСнаб [Электронный ресурс] // URL: <http://vetagrosnab.ru/crop-production> дата обращения 23.03.22.
19. Сэги Йо. Методы почвенной микробиологии / Йо Сэги; И. Ф. Куренного; под ред. и с предисл. акад. ВАСХНИЛ Г. С. Муромцева. – М.: Колос, 1983. – 294 с.
20. Ledingham R. J. A flotation method for obtaining spores of *Helminthosporium sativum* from soil / R. J. Ledingham, S. H. F. Chin // Can. J. Bot. – 1955. – Vol. 33, Is. 4. – P. 298–303.
21. Чулкина В. А. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем. Учебно-практическое пособие / В. А. Чулкина, Е. Ю. Торопова, Г. Я. Стецов, А. А. Кириченко, Е. Ю. Мармулева, В. М. Гришин, О. А. Казакова, М. П. Селюк. – Барнаул, 2017. – 210 с.
22. Способ определения супрессивности почвы: пат. 2 568 913 С1: Рос. Федерация / Е. Ю. Торопова, А. А. Кириченко; заявитель и патентообладатель Новосибирский ГАУ. – № 2014126924/15; заявл. 01.07.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.
23. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере / О. Д. Сорокин. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
25. Соколов М. С. Экологический мониторинг здоровья почв в системе «ОВОС» (методология выбора критериев оценки) / М. С. Соколов, А. И. Марченко // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 3–18.
26. Соколов М. С. Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты / М. С. Соколов, А. П. Глинушкин, Е. Ю. Торопова // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 81–94.
27. Соколов М. С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (Белгородский опыт) / М. С. Соколов // Агрохимия. – 2019. – № 11. – С. 3–16.
28. Toropova E. Yu. Development of soil-borne infections in spring wheat and barley as influenced by hydrothermal stress in the forest-steppe conditions of Western Siberia and the Urals / E. Yu. Toropova, A. P. Glinushkin, M. P. Selyuk, O. A. Kazakova, A. V. Ovsyankina // Russian Agricultural Sciences. – 2018. – Т. 44, № 3. – С. 241.
29. Торопова Е. Ю. Экологические основы защиты растений от болезней в Сибири / Е. Ю. Торопова. – Новосибирск, 2005. – 371 с.
30. Торопова Е. Ю. Фитосанитарный мониторинг и контроль фитопатогенов яровой пшеницы // Е. Ю. Торопова, И. Г. Воробьева, Г. Я. Стецов, О. А. Казакова, А. А. Кириченко / Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 6. – С. 25–32.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF IODINE-CONTAINING FERTILIZERS ON THE SOIL AND PLANTS OF SPRING WHEAT

Selyuk M. P.¹, Gavrilets T. V.¹, Matenkova E. A.¹, Subotyalov M. A.²

¹*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

E-mail: selyuck.marina@yandex.ru

The effect of iodine on the number of soil microorganisms, suppressiveness and phytosanitary condition of the soil in relation to the main causative agent of root rot of spring wheat *Bipolaris sorokiniana* was studied. The research was carried out in the Novosibirsk region. The soil cover is leached chernozem. When cultivating spring wheat of the Ob 2 variety, the main technological operations corresponding to the zonal system

of agriculture were used. The predecessor is pure steam. Iodine was part of the mineral fertilizer Agrotsen.

The purpose of this study is to assess the effect of the iodine-containing fertilizer Agrotsen on the components of soil biocenosis and the development of root rot of spring wheat in the forest-steppe of the Ob region.

The use of Agrotsen positively influenced the studied parameters of soil health, as well as the growth and development of spring wheat.

The phytosanitary effect of Agrotsen against the *Bipolaris sorokiniana* population in the soil was revealed, and an increase in the level of soil suppressiveness was also noted. According to our research, the biocenosis of the soil is saturated with *Bipolaris sorokiniana* conidia. Exceeding the threshold of harmfulness on average by samples was 2.7 times. The highest density of conidia of pathogenic micromycetes in the soil was noted in the control variant.

Due to the introduction of the Agrotsen, the development of root rot of spring wheat did not reach the threshold of harmfulness during the growing season. A high correlation was revealed between the density of *Bipolaris sorokiniana* conidia in the soil and the development of spring wheat root rot ($r = 0.812 \pm 0.412$; $r = 0.969 \pm 0.174$), which indicates a close relationship between the discussed indicators in the forest-steppe of the Ob region.

The level of soil suppression increased in all variants where Agrotsen was used. The maximum level of suppressiveness was noted in the variant with treated seeds and Agrotsen for vegetation, which indicates its beneficial effect on soil antagonists. The level of the suppressive capacity of the soil was at an average and strongly pronounced level. A high negative relationship was revealed between the density of *Bipolaris sorokiniana* conidia in the soil and its suppressiveness ($r = -0.965 \pm 0.184$), which indicates the important role of antagonists in the control of soil infections.

The number of saprotrophic micromycetes increased by an average of 2 times, the number of cellulolytic microorganisms increased by 2.8 times compared to the control variant. The number of soil bacteria and actinomycetes increased due to the introduction of Agrotsen. Correlation coefficients were determined between the number of soil microorganisms and the development of root rot (-0.659 ± 0.45 ; -0.928 ± 0.263 ; -0.965 ± 0.184), which indicates the presence of a high negative relationship between these indicators.

The yield of spring wheat largely depended on the use of iodine-containing fertilizer. The highest yield was after the double application of Agrotsen, it exceeded the control version without fertilizer treatment by 63.5 %.

Keywords: Mineral fertilizer, phytosanitary condition, root rot, yield.

References

1. Sindireva A. V., Khamova O. F., Stepanova O. V. Microbiological activity and phytotoxicity of meadow-chernozem soil under conditions of iodine application, *OmGAU Bulletin*, **3(19)**, 25 (2015a).
2. Khodzhaerova G. R., Mamadiyarova H. S. Prospects for studying the chemical properties of physiologically active compounds. The amount of iodine in the soil, *Modern innovations*, **6(8)**, 14 (2016).
3. Troshina E. A., Abdulkhabirova F. M., Yunikov P. V. Functional autonomy of the thyroid gland, *Russian Medical Journal*, **1**, 44, (2006).
4. Savchenkov M. F., Selyatitskaya V. G., Kolesnikov M. F. *Iodine and the health of the population of Siberia*, 286 (Novosibirsk, 2002).

5. Konarbaeva G. A. Gross content and distribution of iodine in the profile of some soils of Western Siberia, *Agrochemistry*, **8**, 66 (2003).
6. Konarbaeva G. A., Demin V. V. Iodine in the humus substance of soils in the south of Western Siberia, *Agrochemistry*, **8**, 73, (2011).
7. Konarbayeva G. A., Smolentsev B. A. Spatial and genetic features of iodine distribution in soils of Western Siberia, *Agrochemistry*, **7**, 85, (2018).
8. Konarbayeva G. A., Yakimenko V. N. Absorption capacity of gray forest soil in relation to iodine, *Agrochemistry*, **2**, 52, (2019).
9. Ermokhin Yu. I., Sindireva A. V. The main criteria for agroecological evaluation of the action of trace elements in the soil – plant–animal system, *Problems of agrochemistry and ecology*, **3**, 19, (2008).
10. Sindireva A. V., Stepanova O. V., Khamova O. F. Influence of iodine on microbiological activity and phytotoxicity of meadow-chernozem soil, *Bulletin of OmGAU*, **2**, 252, (2015b).
11. Pobilat A. E., Voloshin E. I. It is. Monitoring in the "soil-plant" system (obzor), *Bulletin of KrasGAU*, **10**, 101, (2020).
12. Dogadina M. A., Tarakin A. V., Botuz N. I., Stebakov A. V. Agroecological assessment of the use of Agrilife mineral fertilizer on spring wheat, *Bulletin of Agrarian Science*, **3(9)**, 49, (2021).
13. Selyuk M. P. The influence of agroecological factors on the development of root rot of spring wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia: abstract. dis. ...cand. biol. nauk: 06.01.07, 22 (St. Petersburg, 2017).
14. Sukhomlinov V. Yu., Toropova E. Yu. Spring wheat varieties resistance to the common root rot, *Plant genetics, genomics, bioinformatics, and biotechnology (plantgen2021)*, 211. (Novosibirsk, 2021).
15. Toropova E. Yu., Kudryavtsev A. E., Stetsov G. Ya., Selyuk M. P. Factual criteria for assessing the health of Siberian soils, *Agrochemistry*, **5**, 3, (2020).
16. Toropova E. Yu., Vorobyova I. G., Stetsov G. Ya., Kazakova O. A., Kirichenko A. A. Phytosanitary monitoring and control of phytopathogens of spring wheat, *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, **35(6)**, 25, (2021).
17. Sindireva A. V. Kekina E. G., Stepanova O. V. Ecological assessment of the effect of iodine-containing fertilizers on the yield of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region, *OmGAU Bulletin*, **1(142)**, 41, (2016).
18. Official website of VetAgroSnab [Electronic resource] // URL: <http://vetagrosnab.ru/crop-production> accessed 23.03.22.
19. Segi Yo., Kurenniy I. F. Methods of soil microbiology, 294 (Moscow, 1983).
20. Ledingham R. J., Chin S. H. F. A flotation method for obtaining spores of *Helminthosporium sativum* from soil, *Can. J. Bot.*, **33(4)**, 298, (1955).
21. Chulkina V. A., Toropova E. Yu., Stetsov G. Ya., Kirichenko A. A., Marmuleva E. Yu., Grishin V. M., Kazakova O. A., Selyuk M. P. *Phytosanitary diagnostics of agroecosystems*, 210 (Barnaul, 2017).
22. Method for determining the suppressiveness of the soil: pat. 2 568 913 C1: Ros. Federation, E. Y. Toropova, A. A. Kirichenko; applicant and patent holder Novosibirsk State University, No. 2014126924/15; application 01.07.2014; publ. 20.11.2015, Bul. No. 32.
23. Sorokin O. D. *Applied statistics on a computer*, 222 (Krasnoobsk, 2009).
24. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*, 351 (Moscow, 1985).
25. Sokolov M. S., Marchenko A. I. Ecological monitoring of soil health in the "EIA" system (methodology for selecting evaluation criteria), *Agrochemistry*, **3**, 3, (2013).
26. Sokolov M. S., Glinushkin A. P., Toropova E. Y. Environmental functions of healthy soil – phytosanitary and social aspects, *Agrochemistry*, **8**, 81, (2015).
27. Sokolov M. S. Soil improvement and biologization of agriculture – the most important factors in optimizing the ecological status of the agro-region (Belgorod experience), *Agrochemistry*, **11**, 3, (2019).
28. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Selyuk M. P., Kazakova O. A., Ovsyankina A. V. Development of soil-borne infections in spring wheat and barley as influenced by hydrothermal stress in the forest-steppe conditions of Western Siberia and the Urals, *Russian Agricultural Sciences*, **44(3)**, 241, (2018).
29. Toropova E. Yu. *Ecological bases of plant protection from diseases in Siberia*, 371, (Novosibirsk, 2005).
30. Toropova E. Yu., Vorobyova I. G., Stetsov G. Ya., Kazakova O. A., Kirichenko A. A. Phytosanitary monitoring and control of phytopathogens of spring wheat, *Achievements of science and technology of agriculture*, **35(6)**, 25, (2021).

УДК 581.93:502.72(292.471)

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА («ДЫХАНИЕ ПОЧВ») В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

Славинская А. В.^{1,2}, Кобечинская В. Г.¹, Иваинов А. В.¹, Гритчин М. В.²

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

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

Выполнено исследование по выявлению интенсивности почвенного «дыхания» на площадях с разным уровнем антропогенного воздействия. Установлено, что почвенное «дыхание» сильно зависит от температуры и водообеспеченности. Наиболее высокие показатели отмечаются в весенний период на целинных землях, на них же отмечаются самые низкие показатели в зимний период. В сезонной динамике большее выделение углекислоты совпадает с интенсивностью биологических процессов, протекающих в почве. Выявлено, что ферментативная активность и почвенное «дыхание» имеют сопряженную динамику и тесно связаны с сезонами года.

Ключевые слова: «дыхание» почвы, углекислый газ, динамика, микробиота, предгорный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Газообмен между почвой и атмосферой называют «дыханием» почвы. Этому обмену способствуют: а) диффузия газов, зависящая от разницы состава почвенного и надпочвенного воздуха и возрастающая с увеличением этой разницы; б) колебание температуры и барометрическое давление (его снижение активизирует удаление воздуха из почвы); в) ветровые потоки, усиливающие испарение воды и освобождающие место для воздуха в почве; г) просачивание воды в глубинные горизонты, тем самым вытесняя почвенный воздух из капилляров; д) состав растительного покрова, сформированный на конкретной территории. Также количество продуцируемого углекислого газа зависит от численности микроорганизмов в почве и интенсивности их обменных процессов [1]. То, насколько активно происходит выделение из почвы углекислого газа, говорит о минерализационной активности почвенных микроорганизмов [2].

Почвенное «дыхание» является основным путем выхода углерода (С) из наземных экосистем и играет центральную роль в глобальных углеродных циклах, потому что почва – это самый большой углеродный пул в наземных экосистемах. Поэтому даже небольшое изменение объемов, может оказать сильное влияние на концентрацию атмосферного CO₂. Важно понимать и уметь предсказывать, как «дыхание» почвы реагирует на изменения окружающей среды и климата, особенно

на региональном уровне. Вышеуказанная проблематика обусловила выбор темы исследования и ее актуальность.

Известно, что «дыхание» почвы сильно меняется во времени и пространстве. В региональном масштабе, закономерности биогеохимического круговорота различных типов экосистем регулируются, по крайней мере, пятью независимыми управляющими или так называемыми факторами состояния: климатом, исходным материалом, топографией, биотой и временем. Следовательно, факторы, тесно связанные с «дыханием» почвы внутри экосистемы и между экосистемами, не идентичны. Как и большинство первичных биологических реакций, «дыхание» почвы сильно зависит от температуры и благоприятной водообеспеченности [3] и, следовательно, от сезонности, причем, максимальная частота дыхания наблюдается в периоды более высоких температур и промежуточной влажности почвы [4]. Известно, что растительный покров и его состав сильно влияют на «дыхание» почвы, чем интенсивнее биологические процессы в почве, тем более выделяется углекислота, а это, в свою очередь, отражает биологическую активность почв [5]. Многие исследователи отмечают положительные корреляции с биомассой корней, надземной продуктивностью и видовым богатством [6, 7].

Задачами данной работы было провести химический анализ почвенных проб, выявить интенсивность и объемы выделения углекислого газа на четырех пробных площадях с разным уровнем антропогенного воздействия на них. Также установить сезонную зависимость между почвенным «дыханием» в течение года и ферментативной активностью почв, которые обсуждались в нашей предыдущей работе [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были взяты старовозрастные лесополосы разных пород: участок № 1 – хвойной и участок № 2 – лиственной, сельхозугодия – № 3 (пашня, с произрастающей здесь озимой пшеницей) и как контрольный – участок № 4 с ненарушенным почвенным профилем (слабо косимая целинная степь) [8] (рис. 1).



Рис. 1. Места взятия почвенных проб [8].

Благодаря тому, что пробы с учетных площадей брались в сезонной динамике, это позволило проследить переменные параметры «дыхания» почвы. Образцы отбирались в трехкратной повторности. Площадки располагались в предгорной части полуострова в 7–8 км к северо-востоку от г. Симферополь (табл. 1).

Таблица 1

Общая характеристика пробных площадей с размерами

№ п/п	Пробная площадь	Размеры
1	Хвойная лесополоса из сосны крымской	1,24 га
2	Лиственная лесополоса из гледичии	2,2 га
3	Пашня (озимая пшеница)	49,4 га
4	Целинная степь (слабо косимая)	13,0 га

Высота месторасположения пробных участков – около 180–190 м над уровнем моря. Гледичиевая лесополоса – № 2 расположена поперек нижней части склона, разграничивая поле озимой пшеницы – № 3 от косимой целинной степи. Сосновая лесополоса – № 1 простирается вдоль склона, соприкасаясь с гледичиевой полосой в её срединной части. Отбор проб производился осенью – в ноябре, зимой – в феврале, весной – в апреле, летом – в июле и осенью – в ноябре. Пробы отбирались с разной глубины почвенного разреза – горизонт А – 0–10 см и горизонт В – 10–20 см со всех участков [9].

Для определения показателя «дыхания» почвы, мы воспользовались модификацией методики Б. Н. Макарова [10].

Отбор и подготовку к анализам почвенных образцов осуществляли по общепринятым методикам в лаборатории [9]. При химических исследованиях почвы определялись следующие показатели: гумус по методу Тюрина, состав обменных катионов, кислотность, количество доступных для растения форм основных элементов питания (азота, фосфора, кальция, магния). Определение активной кислотности (рН) водной вытяжки производилось по методу Н. И. Алямовского. Определение общей щелочности оценивалось по HCO_3 в мг/экв, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – с помощью трилона Б. Перечисленные анализы дают возможность установить тип и разновидности почв, дать им агропроизводственную оценку. Все полученные показатели в работе рассчитаны с оценкой достоверности на $P_{0,95}$ уровне значимости [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем обсудить особенности почвенного «дыхания» в сезонном аспекте, сначала рассмотрим химические характеристики почв 3 пробных площадей, объединив пробы для двух лесополос (уч. № 1 и № 2) из-за близости их размещения и практически полной схожести анализируемых почвенных характеристик (табл. 2).

Таблица 2

**Химические показатели почв пробных площадей в предгорной зоне Крыма
(мг/100 г почвы)**

№	pH	Гумус, %	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cl ⁻ мг/экв	HCO ₃ ⁻² мг/экв	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺
1	7,85	3,84	0,25	0,70	22,2	5,3	85,4	16	2,43	3,4
3	7,78	4,17	0,22	0,71	30,8	5,3	76,25	19	2,22	3,4
4	7,83	3,80	0,25	0,48	20,0	5,3	73,20	18	2,82	3,4

Диапазон pH от 7,78 до 7,85 мг/г всех трех участков свидетельствует, что эти почвы слабощелочные. Содержание гумуса на всех пробных участках достаточно высокое. В сосновой лесополосе и целинной степи эти параметры близки – 3,84 % и 3,80 % соответственно, но больше всего гумуса выявлено на участке № 3 (пашня) – 4,17 %.

Величина подвижного фосфора наиболее низкая на ненарушенном участке № 4 (0,48 мг/г), что закономерно. Подстилающие породы для этого района исследований – известняки, а они почти не изменяют общего запаса фосфора в почве, но значительно повышают его подвижность и усвояемость для растений при слабощелочной среде почвенного раствора. Повышение pH в сторону щелочности уменьшает активность полуторных окислов, ослабевают адсорбционные свойства фосфора и увеличивается относительное количество фосфатов кальция в почве, что делает его более доступным для произрастающих здесь степных растений [12, 13]. На участках № 1 и № 3 повышенное содержание фосфора связано с внесением фосфорных удобрений в пашню и попадание за счет смыва по склону их в лесополосу, поэтому эти показатели мало отличались друг от друга 0,70 и 0,71 мг/г соответственно. С глубиной валовое содержание фосфора в черноземах падает, т.к. происходит его биологическая аккумуляция корнями выращиваемых здесь зерновых. Значительная часть фосфора также входит в состав гуминовых кислот и фульвокислот. Поэтому, чем больше содержание в почвах гумуса, тем выше, как правило, значение в них органических фосфатов. По данным Д. С. Орлова [12] наиболее интенсивно поглощают фосфаты минеральные горизонты почвы и карбонаты подстилающих пород, существенно снижая сорбционную способность почв по отношению к фосфатам, особенно после удаления или частичного разрушения гумусового горизонта.

Органические соединения азота вне живых организмов неустойчивы и быстро разлагаются, но в форме гуминовых веществ почв они приобретают высокую устойчивость и доступность для растений. Содержание нитратного азота на всех трех участках относительно низко – 0,22–0,25 мг/г, т. к. он в первую очередь легко вымывается из почвенного профиля, но на пашне его величины самые низкие. На целинных черноземах, под естественной степной растительностью, количество нитратов обычно мало, т. к. растения сразу используют нитраты, появляющиеся в результате нитрификации [14]. Поэтому, в балансе доступного растениям нитратного азота наблюдается преобладание расходной части (денитрификация) над приходной (нитрификация), это особенно заметно на пашне. Возможно, по этой же

причине можно объяснить закрепление нитратов в телах микроорганизмов, разлагающих растительные остатки, которыми богата пашня при рыхлении почвы, повышающая аэрацию обрабатываемых слоев.

Валовое содержание калия в исследуемых почвах пробных площадей велико по сравнению с азотом и фосфором (табл. 2). По современным представлениям [15–17 и др.] все формы почвенного калия участвуют в питании растений, но в различной степени. Калий почвенного раствора легко доступен для растений, но его содержание здесь незначительно и весьма непостоянно. Основным источником калия для растений является его поглощенная форма. Именно она характеризует плодородие почвы в отношении этого элемента [18]. В предгорной зоне Крыма преобладают тяжелосуглинистые фракции, которые имеют большую емкость поглощения катионов, поэтому они лучше обеспечены калием, чем легкие песчаные почвы [19]. Следует также отметить, что рельеф ландшафта, где расположены пробные участки, тоже оказывает влияние на распределение калия. Почвы верхних элементов рельефа обедняются калием, а соответственно развитые в пониженных элементах обогащаются водорастворимыми соединениями калия. Пробные участки расположены по склону и перераспределение этого элемента по участкам совершенно закономерно. Содержание обменного калия наиболее значимо на участке № 3 (30,8 мг/г), что является диагностическим признаком их окультуренности [20].

Обменные Са и Mg представляют в большинстве почв основную массу обменных катионов почвенного раствора, их концентрация находится в подвижном равновесии с поглощенными Са и Mg и их карбонатами. Потребность растений в данных элементах минерального питания значительно ниже, чем калия [11, 12]. Соли магния, как более растворимые, в большем количестве вымываются из почв с осадками и накапливаются в воде, поэтому закономерно их более низкое содержание в почвенных пробах [13, 14]. Следовательно, можно считать, что эти катионы находятся в почвах в количествах вполне достаточных для питания растений, что подтверждают и наши исследования. Диапазон колебаний обменных Са (16–19 мг/100 г почвы) и Mg (2,43–2,82 мг/100 г почвы) по участкам достаточно близки, несколько снижаясь по магнию на пашне (2,22 мг/100 г почвы) с учетом рельефа местности.

Почвы предгорной зоны не солонцеватые, т. к. они содержат обменный Na^+ (3,4 %) ниже 5 % от емкости поглощения, поэтому его величина не сказывается отрицательно на свойствах почв [19, 21].

Между жидкой и твердой фазами почвы постоянно существует динамическое адсорбционное равновесие, что делает состав и концентрацию почвенного раствора весьма подвижными. На незасоленных почвах (как на наших пробных площадях) концентрация почвенного раствора невелика и одним из важнейших анионов этого раствора является HCO_3^{2-} . Именно этот анион, вместе с анионом NO_3^- , составляют на незасоленных почвах основную массу их почвенного раствора (до 90 % и более) [12]. Этот показатель сильно варьирует в зависимости от интенсивности процессов окисления органического вещества и образования углекислоты (жизнедеятельность микроорганизмов, дыхание корневой системы растений), поэтому наиболее

значимые из таблицы 1 именно эти показатели. При обилии органического опада в лесополосах (уч. № 1 и № 2) эта величина достигает 85,4 мг/экв. HCO_3^{-2} , заметно снижаясь по остальным участкам (73,2–76,25 мг/экв. HCO_3^{-2}). Следовательно, можно считать, что в период интенсивного образования углекислого газа в почве усиливается мобилизация питательных веществ для растений, т. к. растворы углекислоты производят растворяющее действие на ряд труднорастворимых соединений: карбонаты переходят в бикарбонаты, резко увеличивается растворимость фосфатов и пр.

Большое значение в жизни почвы имеют реакции окисления и восстановления, в основном связанные с жизнедеятельностью почвенных организмов и вырабатываемых ими ферментов. Переувлажнение, ухудшение аэрации, уплотнение почв приводит к изменению их окислительно-восстановительного потенциала, также оказывают сильное влияние на этот процесс колебания температуры и влажности по сезонам года.

Показатель «дыхания» почв на разных пробных площадках, с учетом антропогенного воздействия на них, в сезонной динамике существенно отличается (табл. 3). Чем интенсивнее биологические процессы, тем больше почва выделяет углекислоты.

В природных условиях, количество образующейся в почве углекислоты – это динамическая характеристика, которая значительно колеблется в течение года, что подтверждают данные таблицы 3. В целинной степи весной (участок № 4) в горизонте Б эти показатели наивысшие $1,58 \pm 0,11 \text{ CO}_2/100 \text{ г почвы в сутки}$, т. к. именно это – зона размещения основной массы корней травостоя и они существенно снижаются на пашне (уч. № 3).

Таблица 3

Изменение интенсивности «дыхания» почвы (мг CO_2 / 100 г почвы в сутки) за 2020-2021 гг.

№ участка/ горизонт	Сезон			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1А	$0,52 \pm 0,01$	$1,21 \pm 0,14$	$0,72 \pm 0,08$	$1,04 \pm 0,07$
2А	$0,49 \pm 0,02$	$1,47 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,11$	$1,06 \pm 0,05$
2Б	$0,42 \pm 0,06$	$1,34 \pm 0,21$	$0,81 \pm 0,01$	$1,03 \pm 0,03$
3А	$0,70 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,05$	$1,00 \pm 0,03$
4А	$0,47 \pm 0,02$	$1,53 \pm 0,06$	$0,89 \pm 0,06$	$0,89 \pm 0,05$
4Б	$0,31 \pm 0,02$	$1,58 \pm 0,11$	$0,73 \pm 0,03$	$0,94 \pm 0,02$

Выявленная сезонная динамика выделения из почв углекислого газа за счет окислительных процессов, хорошо иллюстрирует рисунок 2, отражающий как объемы выделения в каждый временной отрезок года, так и общие годовичные тенденции.

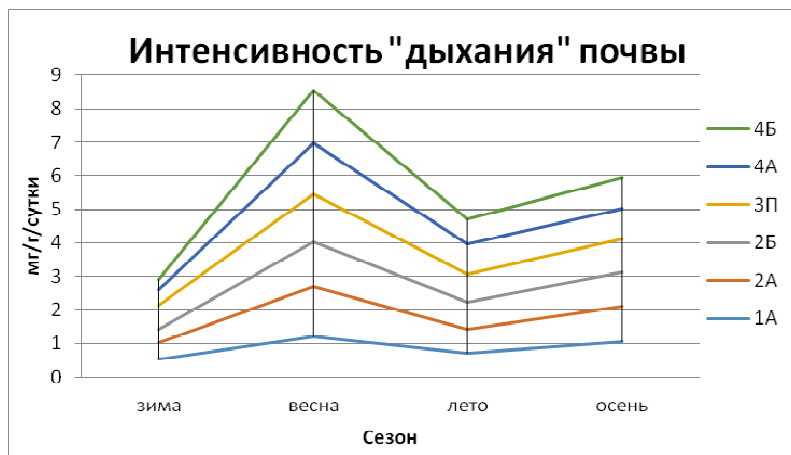


Рис. 2. Сезонная динамика выделения CO_2 в почвах на пробных площадях в предгорном Крыму (2020–2021 гг.).

Так, зимой показатели «дыхания» почвы на разных участках наиболее низкие и колеблются от 0,31 мг/г до 0,52 мг/г. На одном лишь уч. 3 (пашня), они заметно превышают эти значения – 0,70 мг/г, т. к. зима была малоснежная, а сложившийся режим увлажнения и практически отсутствие низких температур, активизировали работу микроорганизмов. Весной наблюдался стремительный скачек показателей, что связано с изменением температурного, погодного и водного режимов. На всех участках показатель дыхания возрос в среднем в 3 раза, на уч. 4 в почвенном горизонте Б отмечается высшая граница значений – 1,58 мг/г. Лето в предгорной зоне в период наших исследований было очень засушливое с высокими температурами (более 27–37 °C) и редкими незначительными осадками (в августе их вообще не было), поэтому влагообеспеченность почв была крайне низкой, что способствовало резкому замедлению окислительно-восстановительных процессов и микробиологической активности. Осенью четко выявляется второй пик этих величин, но они не опускаются ниже 0,89 мг/г (уч. 4). На нем (целинная степь) также отмечены самые большие значения – 1,06 мг/г, что вполне закономерно, т. к. подстилка конденсирует влагу воздуха и создает более благоприятные условия для окисления микроорганизмами мертвой органики. Углекислота является важным фактором химического выветривания, оказывая растворяющее действие на труднорастворимые соединения: карбонаты переходят в бикарбонаты, увеличивается растворимость фосфатов. Поэтому в осенний период усиливается мобилизация питательных веществ, т. е. переход их в доступное для растений состояние.

Сопоставив показатели в сезонной динамике аккумуляции почвенных ферментов [8] и выделения углекислого газа из почв, нами была выявлена интересная закономерность.

Изученные ферменты: каталаза, пероксида и полифенолоксидаза имеют сопряженную динамику с почвенным «дыханием». Так, по данным наших исследований самые высокие показатели ферментативной активности выявлены по

пероксидазе в осенний период (75,04 мг/г), достаточно высоки величины и каталазы, но по почвенному «дыханию» четко прослеживается плавное снижение данного показателя. В летний период из-за высоких температур и дефицита влаги «дыхание» почв достаточно низко, а величины накопления данных ферментов выявляют наиболее значительные показатели (полифенолоксидаза – 10,6 мг/г и каталаза – 8,47 мг/г), кроме полифенолоксидазы.

Эта сезонная динамика способствует накоплению ферментов в почве в осенний и зимний период и активизации их деятельности в весенний период, когда растениям наиболее потребны для роста и развития органические вещества, микро- и макроэлементы и резко возрастает активность микроорганизмов при благоприятных температурных и водных условиях. Причем наиболее четко эта отмеченная закономерность прослеживается в целинной степи (уч. № 4) и под пологом лесополос (уч. № 1 и № 2). На пашне, из-за сильного нагрева почвы, незащищенной растительным покровом (особенно после уборки урожая), идет более интенсивная потеря влаги из верхних горизонтов, внесения удобрений и пр., поэтому процессы как почвенного «дыхания», так и активность образования ферментов снижаются и падают до минимума в зимний период.

Эти годовичные данные можно рассматривать как предварительные для углубленных многолетних исследований, которые позволят выявить более четкие закономерности между данными характеристиками почвенного покрова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что агрохимические характеристики почв оказывают влияние на уровень их биологической активности. Плодородие почв определяют такие показатели как: содержание в ней азота, обменного калия, подвижного фосфора. Поэтому в балансе доступного растениям нитратного азота наблюдается преобладание расходной части (потребление) над приходной (нитрификация).
2. Четко выявляется в предгорной зоне Крыма два пика активности почвенного «дыхания»: весенний и осенний с депрессивными показателями в летний и зимний сезоны. Углекислота является важным фактором химического выветривания, способствуя преобразованию труднорастворимых соединений: карбонаты переходят в бикарбонаты, увеличивается растворимость фосфатов. Поэтому в весенний период усиливается мобилизация питательных веществ, т. е. переход их в доступное для растений состояние. Лето в предгорной зоне влагообеспеченность почв крайне недостаточна, что способствует замедлению окислительно-восстановительных процессов и микробиологической активности.
3. Изученные ферменты: каталаза, пероксида и полифенолоксидаза имеют сопряженную динамику с почвенным «дыханием». Самые высокие показатели ферментативной активности выявлены по пероксидазе в осенний период (75,04 мг/г), достаточно высоки величины и каталазы, но по почвенному «дыханию», четко прослеживается плавное снижение данного показателя. В летний период из-за высоких температур и дефицита влаги «дыхание» почв достаточно низко, а величины накопления данных ферментов выявляют

наиболее значительные показатели (полифенолоксидаза – 10,6 мл/г и каталаза – 8,47 мг/г), кроме пероксидазы. Эта сезонная динамика способствует накоплению ферментов в почве в осенний и зимний периоды и, активизации их деятельности в весенний период, когда растениям наиболее потребны для роста и развития органические вещества, микро- и макроэлементы. Так, резко возрастает активность микроорганизмов при благоприятных температурных и водных условиях.

Список литературы

1. Роль беспозвоночных животных в формировании состава почвенного воздуха // Роль организмов в газообмене почв / под ред. Б. Г. Розанова. – М. : МГУ, 1986. – С. 27–40.
2. Голядкина И. В. Оценка влияния полиакриламида на показатели биологической активности почвы / И. В. Голядкина, Я. В. Панков // Лесотехнический журнал. – 2013. – Т. 12, №4. – С. 16–19.
3. Raich J. W. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls / J. W. Raich, A. Tufekcioglu // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 1, № 48. – P. 71–90.
4. Atarashi-Andoh M. Seasonal patterns and control factors of CO₂ effluxes from surface litter, soil organic carbon, and root-derived carbon estimated using radiocarbon signatures / M. Atarashi-Andoh, J. Koarashi, S. Ishizuka [et al.] // Agr Forest Meteorol. – 2012. – № 152. – P. 149–158.
5. Raich J. W. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate / J. W. Raich, W. H. Schlesinger // Tellus. – 1992. – Vol. 2, № 44. – P. 81–99.
6. Степанов А. Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах / А. Л. Степанов. – М. : ГЕОС, 2011. – 192 с.
7. Rastogi M. Emission of carbon dioxide from soil / M. Rastogi, S. Singh, H. Pathak // Current Science. – 2002. – Vol. 82(5). – P. 510–517.
8. Славинская А. В. Ферментативная активность почв с учетом сезонной динамики в предгорной зоне Крыма / А. В. Славинская, А. В. Ивашов, В. Г. Кобечинская, В. М. Громенко, А. И. Якубовская, И. А. Каменева, М. В. Гритчин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73), № 1. – С. 169–179.
9. Александрова П. Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / П. Н. Александрова, О. И. Найденова. – М.: Колос, 1974. – 280 с.
10. Макаров Б. Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы и биологической активности / Б. Н. Макаров // Почвоведение. – 1957. – № 9. – С. 119–122.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
12. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М : МГУ, 1992. – 400 с.
13. Durand G. Contribution al etude de la biologie du sol / G. Durand – Sur le catabolisme des acides nucleiques et de leurs derives : These doct. sci. Toulouse, 1966. – 233 p.
14. Rotini O. T. La prenzenc e l attivita delle pirofosfatasi in alcuni substrati organici e nei terreno / O. T. Rotini // Atti Soc. Ital. progr. Sci. – 1933. – Vol. 11. – P. 3–11.
15. Dalai R. C. Effect of toluene on the energy barriers in urease activity of soils / R. C. Dalai // Soil Sci. – 1975. – Vol. 120, № 4. – P. 256–260.
16. Roberge M. R. Factors affecting urease activity in a black spruce humus sterilized by gamma radiation / M. Roberge, R. Knowles // Canad. J. Soil Sci. – 1968. – Vol. 48, № 3. – P. 355–361.
17. Почвоведение с основами геологии: учеб. пособие / А. И. Горбылева [и др.] – Минск : Новое знание, 2002. – 480 с.
18. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма / Н. А. Драган – Симферополь : Доля, 2004. – 208 с.
19. Ambroz Z. K poznani cellulazoveho komplexu v pudach / Z. Ambroz // Rostl. Vyroba. – 1973. – Vol. 19, № 2. – P. 207–212.
20. Добровольский Г. В. Экология почв. Учение об экологических функция почв Учебник / Г. В. Добровольский, Е. Н. Никитин. – М. : МГУ, 2012. – 412 с.
21. Хазиев Ф. Х. Почва и биоразнообразие / Ф. Х. Хазиев // Экология. – 2011. – № 3. – С. 184–190.

SEASONAL DYNAMICS OF CARBON DIOXIDE EMISSION ("SOIL RESPIRATION") IN THE POOTHONNE ZONE OF THE CRIMEA

Slavinskaya A. V.^{1,2}, Kobechinskaya V. G.¹, Ivashov A. V.¹, Gritchin M. V.²

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

²FSBSI «Research Institute of Agriculture of Crimea», Simferopol, Crimea, Russia

E-mail: alina.slav.98@mail.ru

Soil is the greatest carbon pool in terrestrial ecosystems, which is why it plays a key role in carbon cycles, while soil "respiration" is the main way to release carbon from these ecosystems. Both the gas exchange between the soil and the atmosphere and the formation of carbon dioxide in the soil depend on many factors. It is important to understand and understand the essence of these processes, because small fluctuations in the volume of produced soil carbon dioxide can have an impact on the environment around us.

The objectives of this work were to conduct a chemical analysis of soil samples, to pick up the intensity and volume of carbon dioxide emission in four sample plots with different levels of anthropogenic impact on them. In addition, a seasonal relationship between soil "respiration" during the year and the enzymatic activity of soils need to be established.

As objects of research, 4 experimental sites were taken: № 1 – coniferous forest belt, № 2 – deciduous forest belt, № 3 – field, and as a control – site № 4 – virgin steppe. Samples were taken in triplicate. The sites were located in the foothill part of the peninsula, 7–8 km north-east of the city of Simferopol. The height of the location of the test plots is about 180–190 m above sea level. Sampling was carried out in the fall – November, in the winter – in February, in the spring – in April, in the summer – in July and in the fall – in November. Samples were taken from different depths of the soil section – horizon A – 0–10 cm and horizon B – 10–20 cm from all areas.

During chemical studies of the soil, the following indicators were determined: humus by the Tyurin method, the composition of exchangeable cations, acidity, the amount of forms of basic nutrients (nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium) available for the plant. These analyses make it possible to establish the type and varieties of soils, to give them an agro-industrial assessment.

The pH range from 7,78 to 7,85 mg/g of all three plots indicates that these soils are slightly alkaline. The humus content in all test plots is quite high. The amount of mobile phosphorus is the lowest in undisturbed area № 4 (0,48 mg/g), this is due to the underlying limestone rock. With a depth, the gross phosphorus content in chernozems decreases, since it is accumulated by the roots of the cereals grown here. The content of nitrate nitrogen in all three plots is relatively low – 0,22–0,25 mg/g, since it is, first of all, easily washed out from the soil profile. The potassium content in the studied soils of the test plots is high, since heavy loamy fractions prevail in the foothill zone of the Crimea. The content of exchangeable Ca (16–19 mg/100 g of soil) and Mg (2,43–2,82 mg/100 g of soil) in the areas is quite close, but decreases in magnesium on arable land (2,22 mg/100 g of soil).

The indicator of "respiration" of soils on different test plots, in seasonal dynamics, differs significantly. So, in winter, the indicators of soil "respiration" in different areas are the lowest and range from 0,31 mg/g to 0,52 mg/g. In the virgin steppe in spring (plot

№ 4) in horizon B, these indicators are the highest $1,58 \pm 0,11$ CO₂/100 g of soil per day. Due to the dry summer, all indicators decrease, since redox processes are inhibited. In the autumn period, the mobilization of nutrients increases, therefore, the second peak of values is revealed, they do not fall below 0,89 mg/g (study № 4). The studied enzymes: catalase, peroxide and polyphenol oxidase, have an associated dynamic with soil "respiration". This seasonal dynamic contributes to the accumulation of enzymes in the soil in the autumn and winter periods and the intensification of their activity in the spring.

Keywords: "breathing" of soil, carbon dioxide, dynamics, microbiota, foothill Crimea.

References

1. Rozanova B. G. *The role of invertebrates in the formation of the composition of soil air*, 27 (Moscow State University, 1986).
2. Golyadkina I. V., Pankov Y. V. Assessment of the influence of polyacrylamide on the indicators of biological activity of the soil, *Forestry journal*, **12**, 4, 16 (2013).
3. Raich J. W., Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls, *Biogeochemistry*, **1**, **48**, 71 (2000).
4. Atarashi-Andoh M., Koarashi J., Ishizuka S. [et al.] Seasonal patterns and control factors of CO₂ effluxes from surface litter, soil organic carbon, and root-derived carbon estimated using radiocarbon signatures, *Agr. Forest Meteorol.*, **152**, 149 (2012).
5. Raich J. W., Schlesinger W. H. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate, *Tellus*, **2**, 44, 81 (1992).
6. Stepanov A. L. *Microbial transformation of greenhouse gases in soils*, 192 (GEOS, 2011).
7. Rastogi M., Singh S., Pathak H. Emission of carbon dioxide from soil, *Current Science*, **82** (**5**), 510 (2002).
8. Slavinskaya A. V., Ivashov A. V., Kobechinskaya V. G. [et al.] Enzymatic activity of soils taking into account the seasonal dynamics in the foothill zone of the Crimea, *KFU of the V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **7**(**73**), 1, 169 (2021).
9. Aleksandrova P. N., Naydenova O. I. *Laboratory-practical classes in soil science*, 280 (Kolos, 1974).
10. Makarov B. N. A simplified method for determining soil respiration and biological activity, *Soil Science*, **9**, 119 (1957).
11. Lakin G. F. *Biometrics*, 343 (Higher school, 1978).
12. Orlov D. S. *Soil Chemistry*, 400 (MSU, 1992).
13. Durand G. Contribution al etude de la biologie du sol, Sur le catabolisme des acides nucleiques et de leurs derives, *These doct. sci.*, 233 (Toulouse, 1966).
14. Gorbyleva A. I. *Soil science with the basics of geology: textbook*, 480 (New knowledge, 2002).
15. Dalai R. C. Effect of toluene on the energy barriers in urease activity of soils, *Soil Sciencs*, **120**, 4, 256 (1975).
16. Roberge M. R., Knowles R. Factors affecting urease activity in a black spruce humus sterilized by gamma radiation, *Canad. J. Soil Sci.* **48**, 3, 355 (1968).
17. Rotini O. T. La prenzence l attivita delle pirofosfatasi in alcuni substrati organici e nei terreno, *Atti Soc. Ital. progr. Sci.*, **11**, 3 (1963).
18. Dragan N. A. *Soil resources of the Crimea*, 208 (Share, 2004).
19. Ambroz Z. K poznani cellulazoveho komplexu v pudach, *Rostl. Vyroba*, **19**, 2, 207 (1973).
20. Dobrovolsky G. V., Nikitin E. N. *Ecology of soils. The doctrine of the ecological function of soils*, 412 (MSU, 2012).
21. Khaziev F. H. Soil and biodiversity, *Ecology*, **3**, 184 (2011).

УДК 582.28

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ГРИБОВ ГРУППЫ ПОРЯДКОВ DISCOMYCETES (ОТДЕЛ ASCOMYCOTA)

Филимонова Д. А.¹, Воробьева И. Г.^{1,2}

¹*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия*

²*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*

E-mail: darya.filimonova@gmail.com

В статье изложена история изучения представления о дискомицетах с древних времен до современности, отражены основные методы исследования данной группы грибов, а также дана оценка существующим проблемам в данной области исследований на основании имеющегося фактического материала. Дискомицеты активно участвуют в процессах образования гумуса, разлагая древесину и другие растительные остатки и в круговороте энергии в природе. Несмотря на то, что в последнее время исследователи часто обращаются к этой группе грибов, степень изученности их остается низкой и неравномерной по всему Земному шару. Для большинства регионов данные о видовом составе дискомицетов отсутствуют или носят отрывочный характер и зачастую не подтверждены гербарным материалом, либо в значительной мере устарели и нуждаются в критическом пересмотре. Работы по сохранению и восстановлению биологического разнообразия, а также по внедрению этой группы организмов в биотехнологические процессы невозможны без проведения инвентаризации и детального изучения распространения дискомицетов в природных и антропогенных сообществах.

Ключевые слова: дискомицеты, систематика дискомицетов, биологическое разнообразие, история изучения дискомицетов.

ВВЕДЕНИЕ

Дискомицеты – это полифилетическая группа сумчатых грибов, не имеющая общепризнанного таксономического ранга. Ее представители встречаются почти во всех растительных сообществах. Они являются не только деструкторами растительных остатков, но также усиливают конкурентоспособность высших растений в борьбе за минеральные вещества, утилизируют продукты жизнедеятельности животных, выступают в качестве важного компонента почвообразования, являются неременным условием успешного заселения послепожарных территорий и способствуют выбраковке слабых растений, оказывая патогенное воздействие [1]. Эти грибы широко распространены во всех климатических зонах и составляют важное функциональное звено экосистем [2].

Дискомицеты объединяет строение плодового тела в виде апотеция. Представители данной группы грибов характеризуются морфологическими, биологическими и экологическими особенностями. Они могут значительно отличаться по внешнему виду (размеру, цвету, консистенции, строению края плодового тела, месту обитания, строению аскоспор). По приуроченности к субстрату их разделяют на следующие экологические группы: произрастающие на

лесной подстилке, опаде (гумусово-подстилочные сапротрофы, или эдафотрофы), непосредственно на почве (напочвенные сапротрофы), на остатках травянистых растений (гербофилы, филлофилы), на мертвой древесине (лигнофилы), на почве кострищ и пожарищ (карбофилы), на помете животных (копрофилы). Дискомицеты этих экологических групп развиваются на неживом органическом субстрате, то есть являются сапротрофами. Наряду с другими организмами они активно участвуют в процессе разложения различных растительных остатков и минерализации органики в почве [3, 4]. В настоящее время особенно актуальным становится тщательное изучение региональных микобиот, которое в будущем позволит проводить углубленный анализ функциональной роли дискомицетов в природных экосистемах и закономерностей их распространения в масштабах всей страны.

Цель работы – обобщить имеющиеся сведения по истории изучения грибов группы порядков *Discomycetes* и современному состоянию вопроса на основе анализа отечественной и зарубежной литературы.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГРУППЫ ПОРЯДКОВ DISCOMYCETES

Несмотря на то, что термин «дискомицеты» появился сравнительно недавно, в XIX веке, исследование данных грибов началось еще до нашей эры. Они представляли интерес для натуралистов античного времени, так как сморчки, также относящиеся к этой группе грибов, уже широко употреблялись в пищу. Упоминания об этом встречается у Аристотеля [5] и его ученика Теофраста еще в III веке до нашей эры [6], отнесены они были к растениям, хотя в труде отдельно упоминалось, что они не имеют ни семян, ни корня, ни листьев, а потому являются несовершенными растениями [7].

В I в. до н. э. римский ученый-натуралист Плиний в своем труде «Естественная история» [8] описал порядка тысячи растений, среди которых выделил и те организмы, которые в настоящее время относятся к грибам. Особое внимание было уделено трюфелям, их размножению и распространению, и отдельно были упомянуты «*pezicae*», скорее всего, имелся в виду представитель пецициевых *Morchella esculenta* (L.) Pers. Кроме того, в рамках рассматриваемой им группы *Fungi*, Плиний описал *Fungus ophioglossoides* (дискомицет, относящийся к семейству Геоглоссовых) [5]. Согласно Вильяму Генри Самуэлю Джонсу, переводившему данный труд на английский язык [8], к тем же трюфелям Плиний отнес и гриб, в современной системе имеющий название *Lycoperdon bovista* L., который морфологически схож с трюфелями шарообразной формой, но по современной классификации относится к базидиомицетам.

Античные ученые не проводили научных исследований грибов, а только кратко описывали их, главным образом, как продукты питания. С падением Римской империи пришли в упадок и классические античные науки. Авторы средневековья только переписывали античные имеющиеся сведения о грибах, не принося ничего нового. Это объясняется тем, что в Средние века изучение живых организмов не носило систематического характера, а исследование грибов и вовсе могло привести ученого к гибели.

На Руси упоминания о представителях дискомицетов встречаются в памятнике литературы – «Домострое», но исключительно с точки зрения их приготовления в пищу или особенностей подачи на стол [9]. Таким образом, до конца Средневековья дискомицеты изучались лишь с прагматической точки зрения, у ученых было мало информации о возникновении, структуре и цикле развития грибов.

С началом эпохи Возрождения европейскими учеными вновь стали исследоваться различные группы живых организмов, в том числе и грибы. С XVI века начинают появляться «травники», содержащие описания и рисунки этих организмов. В 1554 году в «Травнике» (Cruydeboeck-Boeck) нидерландского ученого Ремберта Додонса грибы составляют одну из шести групп растений, и классифицируются по различным признакам: форма, токсичность, сезон появления. Автором были описаны некоторые грибы, ныне относящиеся к дискомицетам. Так, сморчок съедобный (*Morchella esculenta*) был отнесен им к группе Fungi praecoces – «Грибы яйцеподобные»; трюфель летний (*Tuber aestivum* Vittad.) – к группе Tubera – «Картофели» [5].

Практически в то же время, в 1583 году, издается труд итальянского натуралиста Пьера Андреа Чезальпино «16 книг о растениях» (De plantis libri XVI), в котором он указывает на особое положение грибов в царстве растений и дает начало научному изучению данной группы организмов. Им описаны многие представители таксона грибов, и в том числе дискомицетов. Трюфели, как представители дискомицетов, вынесены в отдельный класс подземных грибов (Tuber или Tartufi) [5].

Большую роль в развитии микологии в XVII веке сыграл ботаник Карл Клузиус, который путешествовал по Европе и изучал растения и грибы. Его перу принадлежит первое фундаментальное исследование грибов региона Паннония (соответствует нынешней территории Венгрии, Австрии, бывших Югославии и Чехословакии) «Fungorum in Pannonis observatorum Historia» [10], в котором он задокументировал 105 видов, организованных в пронумерованные роды. Среди описанных им видов макромицетов встречаются и дискомицеты. По причине их недостаточной изученности, ученый еще не относил последних в отдельную группу и рассматривал дискомицеты вперемешку с представителями других порядков грибов, классифицированных также по принципу съедобности или несъедобности. Следует отметить, что большинство ученых продолжали ошибочно относить грибы к растениям еще долгое время, некоторые ботаники даже пытались описывать «цветы» у грибов. Это объясняется тем, что настоящие цветковые растения были изучены куда шире, чем споровые организмы, и более удобным и закономерным в то время представлялось присоединение новых открываемых видов к уже изученным таксонам, нежели выделение новых.

В 1644 году последователь Карла Клузиуса Франциск Стербек опубликовал труд под названием «Theatrum Fungorum» [11], где были даны точные описания грибов. Книга была написана на фламандском языке, а не на латыни, и с ее помощью он надеялся популяризировать интерес к грибам среди своих соотечественников, описывая их кулинарные и лечебные применения и различая

съедобные и ядовитые грибы. Особый раздел был посвящен трюфелям и клубневым растениям, как съедобным, так и ядовитым.

В 1719 году немецкий ботаник Иоганн Якоб Диллениус в труде «*Catalogus plantarum sponte circa Gissam nascentium*» [12] перечислил несколько представителей пецициевых. Позднее шведский естествоиспытатель Карл Линней в работе «Система природы», опубликованной в 1735 году, отнес грибы к последнему, 24 классу растений – криптогамным («тайнобрачным», не имеющим цветков) [13]. Им были описаны представители гелвелловых, пецициевых грибов, а также множество представителей базидиомицетов и аскомицетов, не относящихся к дискомицетам.

В 1729 году итальянский ботаник и миколог Пьер Антонио Микели издал книгу *Nova plantarum genera* – одну из важнейших работ для микологии, в которой было описано и зарисовано почти две тысячи видов растений и грибов, в том числе дискомицетов, упомянуты сморчки и трюфели [14].

В 1761 году врач Уильям Каллен в своей книге «*Lectures on the materia medica*» при описании целебные свойства трав заострил свое внимание на отдельной группе растений – грибах. «Это, вне всякого сомнения, травы, но лишь постольку, поскольку некоторая их часть находится под землей. Но они отличаются от любых других трав – и даже от овощей – так сильно, и, кроме того, их свойства настолько различны, что их очень трудно классифицировать. Среди грибов разделяют три подкласса: Трюфели, Сморчки и Собственно грибы, куда входят все остальные представители» [15].

В 1770 году итальянским микологом Скополи был впервые описан копротрофный дискомицет *Elvella fimetaria* Scop., позднее отнесенный к пецициевым грибам [16].

К началу XIX века ученым было известно несколько сотен видов грибов, и именно в то время была сделана первая попытка упорядочить классификацию Линнея. Голландский врач Христиан Персон и шведский ботаник Элиас Фриз разработали классификацию грибов настолько точную, что это дало фундамент для последующего развития микологии как самостоятельной науки. Ими были описаны семейства, относящиеся к порядку дискомицетов, а названия некоторых видов грибов, описанных ими, используются и в настоящее время. Именно Фризом в 1836 году дискомицеты впервые были выделены в отдельный класс – *Discomycetes*. Кроме того, именно Фриз предложил включить грибы в отдельное царство, однако, его идею не поддержали, и лишь спустя почти полтора века, в 70-х годах XX века, было выделено царство грибов.

В середине XIX века все большее внимание уделялось изучению структуры грибов и их жизненному циклу. Развитие микроскопии привело к углублению знаний о строении дискомицетов. Появляются работы по микрохимическим реакциям некоторых элементов апотеция. Одним из первых, кто обратил внимание на йодную реакцию в асках, был Вильям Нюландер, первооткрыватель химического метода исследования этих организмов. По мере накопления фактических данных (микроскопических, микрохимических) многие таксоны, особенно такие крупные, как пецициевые, были разбиты на множество субъединиц [17].

Большой вклад в описание новых видов дискомицетов и разработку таксономии внесли французские микологи. Братья Круа были первыми, кто описал

и проиллюстрировал оперкулятные сумки у видов родов *Ascobolus* и *Peziza* в 1857 году. Новый период в исследованиях дискомицетов знаменуется работами миколога Эмиля Будье. Он развил идею братьев Круа о возможном таксономическом значении крышечки у видов рода *Ascolobus* и распространил этот критерий на все дискомицеты, разделив их на оперкулятные, к которым отнес семейства *Morchellaceae*, *Helvellaceae*, *Pezizaceae*, *Humariaceae*, *Ascobolaceae*, *Peronemaceae*, *Eoascaceae*; и иноперкулятные, в которые вошли семейства *Patellariaceae*, *Dermataceae*, *Stictidaceae*, *Phacidaceae*, *Ascocorticaceae* [18]. Кроме того, он использовал окраску спор как систематический признак [16], уделял внимание масляным каплям в аскоспорах и ряду других признаков [17]. Э. Будье разделил оперкулятные дискомицеты на сложные и простые. К первым он отнес семейство *Morchellaceae*, к последним – все остальные [18].

Большой вклад в изучение дискомицетов на территории нынешней России внес Иван Андреевич Вейнман. В самой крупной своей работе «*Hymeno- et Gasteromycetes hucusque in Imperio Rossico observatos recensuit*», увидевшей свет в 1836 году, Вейнман приводит более 1000 видов грибов, порядка 200 из которых в настоящее время относятся к дискомицетам [19].

Изучением дискомицетов, наряду с другими грибами, занимался основоположник микологии и фитопатологии Михаил Степанович Воронин. Значительная часть его работ посвящена заболеваниям растений, вызванным грибами, поскольку таковы были потребности сельского хозяйства того времени. В частности, в конце XIX века им были описаны представители *Sclerotiniaceae* (склеротиниевых грибов), являющиеся растительными патогенами [19, 20].

Таким образом, ко второй половине XIX века во многих европейских странах были опубликованы крупные работы, обобщающие сведения по видовому разнообразию дискомицетов. На этом этапе микологи исследовали исключительно видовое разнообразие дискомицетов, что соответствовало описательному характеру этого периода в развитии микологии [16].

К концу XIX века изучение дискомицетов проводилось в различных фитогеографических и климатических регионах Земли и привлекало внимание все большего числа микологов со всего мира, разрабатывались и использовались новые методы исследований. Это позволило сделать обобщающие сводки, но потребовало проведения таксономических обработок и ревизий описанных таксонов [16].

В начале XX века были изданы монографические издания дискомицетов. Одной из самых значительных работ этого периода стала монография Йозефа Веленовского, изданная в 1934 году, в которой была представлена сводка биоразнообразия дискомицетов Чехословакии. Позднее Мирко Сврчек провел ревизию дискомицетов, описанных Веленовским. В 1954 году он напечатал ревизию *Orbilina*, в 1976 году – *Peziza*, в 1979 году – оперкулятных дискомицетов, а в 1985 году – иноперкулятных дискомицетов. В 1981 году Сврчек подготовил «Каталог оперкулятных дискомицетов Чехословакии». Он активно сотрудничал с учеными, занимающимися этой же группой грибов, в частности, с американским микологом Ричардом Корфом, специалистом по систематике дискомицетов, и британским

микологом Ричардом Деннисом, изучавшим дискомицеты Королевских ботанических садов Кью (юго-западная часть Лондона).

На территории бывшего СССР изучением дискомицетов занимались Н. А. Наумов (Ленинградская область), Н. В. Степанова, А. В. Сирко, А. Г. Ратвийр [21, 22] (Урал), А. Г. Райтвийр (Дальний Восток), В. П. Васильков (Арктика) [18, 23]. Советскими учеными дискомицеты изучались на территории Грузии (Т. Т. Анчабадзе), Эстонии, Армении и Азербайджана (А. Г. Ратвийр [21]), Украины (З. К. Гижицкая, М. Ф. Смицкая), Казахстана (К. Е. Мурашкинский, М. К. Зилинг) [18, 24].

В середине 90-х годов были проведены исследования дискомицетов на территории Алтайского государственного заповедника [25, 26]. В настоящее время на территории РФ наиболее хорошо изученными регионами в плане исследованности биоразнообразия данной группы грибов являются только северо-запад Европейской части России [19, 27, 28], север Западной Сибири [29–31], Дальний Восток [Богачева, 2000, 2017, 2018, 2019]. Помимо систематических вопросов, А.В. Богачевой проработаны экологические аспекты распространения дискомицетов дальнего Востока [32–35]. Для большинства же территорий России, в числе которых – юг Западной Сибири, данный вопрос остается пока мало проработанным.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ДИСКОМИЦЕТОВ

На протяжении всей истории изучения дискомицетов перед учеными стояли проблемы, связанные, в первую очередь, с систематическим положением данной группы организмов. Несмотря на развитие методических подходов к исследованиям, привлечению современной микроскопической техники, морфология дискомицетов остается недостаточно изученной, и поэтому они до сих пор являются одной из сложных в систематическом отношении групп грибов [18].

Одна из первых попыток систематизации грибов была сделана Плинием Старшим. В «Естественной истории» он классифицирует грибы, в том числе несколько родов дискомицетов, среди которых выделяет пецициевые, гелоциевые и ряд других. Классификация Плиния Старшего была утилитарной, основанной на гастрономическом подходе: все грибы были разделены на съедобные и несъедобные [8]. В то же время примечательно, что Плиний попытался объединить грибы внутри вышеперечисленных групп по признакам внешнего сходства, тем самым положив начало известной ныне классификации этих живых организмов.

Несколько веков грибы, и дискомицеты в частности, считались растениями, и подвергались лишь примитивной классификации: делились, как и в античности, по гастрономическому принципу, а также на «пористые» и «пластинчатые». Лишь начале XIX века было положено начало привычной нам классификации грибов, и дискомицетов, в частности.

В 1801 году миколог Христиан Персон написал работу «Synopsis methodica fungorum» [36], призванную упорядочить данные об известных к тому времени грибах и расширить систему классификации Линнея. Исследователь разделил грибы на два класса по признаку местонахождения спороносного слоя: первый класс – грибы закрытые, с внутренним гимением, второй – открытые, с гимением на

внешней поверхности. Классы были разделены на три порядка, порядки далее были разбиты на семейства. Согласно классификации Х. Персона, организмы, которые в настоящее время относятся к дискомицетам (им упомянуты такие таксоны, как *Morchella*, *Peziza*, *Helvella*, *Helotium*, *Ascolobus*), относятся к шестому семейству (*Helvelloidei*) пятого класса *Hymenophecii*.

Наравне с Х. Персоном, одним из основоположников систематики дискомицетов считается Сэмюэл Фредерик Грэй, британский химик и ботаник, предложивший свою классификацию в 1821 году. Основными таксономическими признаками, использованными в этой системе, были особенности строения организма, среда обитания, способ размножения, а также характеристики гименофора и место образования спор [37]. В одну группу с дискомицетами он помещал кортициоидные грибы [38].

Отправной точкой для микологической номенклатуры считается дата публикации «*Systema mycologicum*» («Микологическая система») Элиаса Фриза – 1 января 1821 года, в которой он представил принципиально новую классификацию грибов и упорядочил данные, представленные Х. Персоном. Э. Фриз придавал большое значение анатомическим методам исследований, вслед за Линнеем придерживаясь создания искусственной системы [25]. В своих более поздних работах Э. Фриз разделил класс *Discomycetes* на шесть «порядков»: *Helvellei*, *Bulgariei*, *Dermatei*, *Patellariei*, *Phacidiei* и *Stictiei*, основываясь на различиях в форме и консистенции плодовых тел, а также их положении относительно субстрата. С широким внедрением микроскопа в микологическую практику стали учитываться признаки строения гимениального слоя, однако, признаки высшего таксономического единства выявить не удавалось (или им не придавалось должного значения), и во всех основных системах конца XIX века повторялись с большими или меньшими изменениями предложенные еще Э. Фризом порядки [19].

Немецкий ботаник Мордехай Кук в своей работе «Введение в микологию» подчеркивает, что «классификация, принятая Фризом в этой, как и во всех других группах, основывалась главным образом на внешних признаках, различимых с помощью лупы», а «у микроскопических представителей» не было шанса попасть в перечень грибов. М. Кук указывал, что, несмотря на успех классификации Фриза, «все же многое осталось несовершенным и нерешенным», и предложенная им система «недостаточна для небольших объектов». Он подчеркивает, что, по его мнению, наиболее логичной является систематика, предложенная Пьером Андреа Саккардо и изложенная в сборнике *Sylloge fungorum*, где исследователь на основе системы дискомицетов Фриза (1849) построил собственную, в которой большое значение придавал характеристикам аскоспор, подразделяя семейства и объединяя роды в несистематические группы [39].

В конце XIX века дискомицеты были наиболее подробно рассмотрены в труде П. А. Саккардо «*Sylloge Discomycetum et Phymatosphaeriacearum...*» (1889). В основу деления порядка *Discomyceteae* на семейства автор положил такие признаки, как консистенция и форма плодовых тел [37].

Важной вехой в развитии систематики дискомицетов стало упомянутое выше разделение их на оперкулятные и иноперкулятные. Именно это открытие дало

толчок к выявлению в начале XX века среди аскомицетов два принципиально различных типа онтогенеза плодовых тел: аскогимениальный и асколокулярный. Для большинства видов с асколокулярным развитием оказался характерен и особый тип строения сумок, получивших название битуникатных (двуслойных) [19].

Несмотря на то, что некоторые микологи не придерживались разделения дискомицетов на оперкулятные и неоперкулятные (Артур Артурович Ячевский, Йозеф Веленовский), большинство ученых придерживаются этого принципа [18].

В 1932 году шведский миколог Юхан Аксель Фритьоф Наннфельдт в своей, ставшей классической, работе по систематике дискомицетов доказал основополагающее значение типа развития аскомы и способа освобождения аскоспор для систематики сумчатых грибов. Опираясь на идеи Будье и других своих предшественников, он разделил сумчатые грибы, образующие плодовые тела, на три группы: *Ascohymeniales*, *Plectascales* и *Ascoloculares*. Дискомицеты он отнес к первой из них. Кроме того, Наннфельдт утверждал, что дискомицеты не образуют единого таксона, а разделяются на четыре независимых порядка: *Pezizales*, *Helotiales*, *Ostropales* и *Lecanorales*. Взгляды Наннфельдта оказали большое влияние на дальнейшее развитие систематики дискомицетов и легли в основу большинства классификаций этой группы, получивших распространение во второй половине XX века [19].

Классификации Наннфельдта придерживался и известный отечественный миколог Николай Александрович Наумов при описании дискомицетов Ленинградской области [23]. В то же время, он подчеркивал, что большой объем данной группы грибов и почти полная однотипность ее представителей заставляют считать систематическое изучение ее делом довольно сложным. Н. А. Наумов отмечал, что при распознавании крупных категорий дискомицетов руководящими признаками могут служить следующие: взаимоотношения плодового тела и субстрата (погруженные или свободные апотеции), характер раскрытия апотециев (раскрываются округлым отверстием или щелью), особенности края диска (с ровными краями или лопастными, зубчатыми и т. д.), консистенция ткани плодового тела (плотная – роговидная, кожистая, или мягкая – студенистая, восковатая, мясистая, сочная), характер развития гипотеция и наличие или отсутствие эпитеция, характер ткани перидия и гипотеция: паренхиматический или прозенхиматический) [23]. Автор рассматривал все дискомицеты в пределах 10 порядков, относя к порядку *Pezizales* семейства *Ascobolaceae*, *Helotiaceae*, *Mollisiaceae*, *Pezizaceae*, последнее семейство включает 2 подсемейства: *Leiopezizaceae* и *Chaetopezizaceae*.

С 90-х годов XX века в систематике стали активно применяться молекулярные методы исследований грибов, основанные на анализе белков, РНК и ДНК с последующим сравнением полученной информации с электронными базами данных [40, 41]. Разработанная на этой основе систематика получила название «Геносистематика» или «Молекулярная систематика» (*molecular phylogenetics*) [41]. Геносистематика занимается изучением эволюционной истории организмов по отношению к их общим предкам на основе анализа молекулярных признаков и позволяет на генетическом уровне судить о филогенетических связях таксонов любого уровня [40, 41].

В середине 2000-х гг. был проведен глубокий анализ филогенетических связей среди низших грибов, которые, из-за методических трудностей, ранее не были исследованы столь подробно. Эти открытия нашли отражение в системе грибов, которая была опубликована в «Словаре грибов Эйнсуорта и Бисби» (Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi) [42]. Данный труд содержит статьи о таксонах грибов, в том числе дискомицетов, а также микологические термины, сведения о микотоксинах и других метаболитах грибов, биографические сведения, теоретические и прикладные аспекты микологии. Данная систематика используется в учебных пособиях по микологии, монографиях по группам таксонов и определителях грибов [5, 41].

Однако, несмотря на подобный прорыв в исследовании микобиоты, до настоящего времени не выработан единый научный взгляд на систематическое положение дискомицетов. В большинстве современных научных изданий предпринимаются попытки изложить их систематику с учетом международного уровня решения данного вопроса, однако в них отмечаются значительные разночтения по иерархии и латинскому названию таксонов высокого ранга [41]. В опубликованных электронных базах данных встречается множество неотредактированных последовательностей, включающих ошибки секвенирования, а также отдельные последовательности, которые неправильно определены, например, на видовом уровне, или находятся под устаревшими или уже не используемыми названиями [40].

В настоящее время микологами подчеркивается, что, несмотря на то, что была проделана значительная работа по молекулярной систематике дискомицетов, представляется преждевременным делать какие-либо существенные изменения в существующей классификации, тем более, что молекулярно-генетические исследования касались в основном пещициевых грибов, и для других порядков данные носят отрывочный характер [43].

Таким образом, до конца XX века классификация дискомицетов основывалась на морфологических и анатомических признаках. В настоящее время естественная систематика стала постепенно уступать свое место эволюционной, или филогенетической.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ СИСТЕМАТИКИ ДИСКОМИЦЕТОВ

В настоящее время все известные дискомицеты перечислены в Международном кодексе номенклатуры водорослей, грибов и растений (МКН, International Code of Nomenclature of algae, fungi, and plants) (до 2011 года – Международный кодекс ботанической номенклатуры – МКБН), своде правил и рекомендаций, регламентирующий образование и применение научных названий растений, грибов и некоторых других групп организмов [44]. Однако, не все исследователи согласны с объединением грибов в один кодекс с растениями и водорослями. Так, Ричард Корф считает необходимым создание отдельного кодекса грибов (Mycological code) [45].

В последнее время наряду с более привычными методами определения систематического положения грибов используется относительно новое направление

– машинное зрение (Computer vision). Машинное зрение стало активно использоваться с начала 2000-х годов в науках биологического спектра, в частности ботанике, и помогало решить поставленные задачи там, где возможности человека уступали компьютерным. Подобные программные обеспечения строятся на том, что алгоритм, несмотря на достаточно сильные различия между видами, определяет характерные особенности для каждого из них и, основываясь на этом, делает вывод и позволяет с достаточной степенью точности определить принадлежность организма к таксономической группе вплоть до вида. Использование данного метода применительно к грибам имеет несколько проблем. Постоянное развитие таксономии грибов приводит к непрерывному потоку реклассификаций и введению новых названий, что вызывает трудности при таксономическом разграничении грибов [46]. Обновляющаяся классификация представителей этого царства все больше основывается не на внешних признаках, а на анализе клеточной структуры и молекулярно-генетических исследованиях. Несмотря на то, что существует необходимость постоянного сопоставления информации, полученной молекулярными методами, с данными предыдущих исследований, проведенных традиционными способами с использованием морфологических признаков, новые знания позволяют пролить свет на имеющиеся проблемы классификации грибов. Кроме того, не все виды грибов одинаково хорошо идентифицируются средствами машинного зрения, и если со шляпочными грибами возникает относительно мало проблем, то идентификация дискомицетов все еще ставит перед исследователями трудноразрешимые задачи. В большой степени это связано с тем, что для отдела Аскомицота, к которому относятся и дискомицеты, характерно чередование стадий полового и бесполого размножения (телеоморфа и анаморфа), которые могут быть ошибочно приняты за представителей двух разных видов. В настоящее время связь между телеоморфой и анаморфой у большинства видов до сих пор не выявлена [47]. Следует также принимать во внимание, что нередко виды, обладающие сходными морфологическими характеристиками, в достаточной степени различаются генетически, что позволяет сделать вывод о невозможности идентификации грибов, основываясь лишь на морфологии [48]. Идентификация по морфологическим данным практически невозможна при разделении близкородственных видов, а также затрудняется из-за сходства определенных структур грибов со структурами других организмов, например, водорослей [47, 49].

Наиболее современным подходом в классификации грибов в данный момент является молекулярно-генетический, который позволяет достаточно быстро и точно быть отнести виды дискомицетов, в частности, и грибов, в целом к той или иной таксономической группе [40].

Опубликованные данные молекулярных исследований свидетельствуют о полифилетичности дискомицетов. Внутри группы выделяется, по меньшей мере, пять независимых эволюционных линий, рассматриваемых в настоящее время в ранге самостоятельных классов или подклассов: *Neoelectomycetes*, *Orbiliomycetes*, *Pezizomycetes*, *Leotiomycetes* и *Lecanoromycetes* [19].

Несмотря на прогрессивность молекулярно-генетических методов, ряд исследователей настаивает на том, чтобы они обязательно подкреплялись

фенотипическими данными [40]. Именно использование комплексного подхода в инвентаризации микобиоты позволит приблизиться в решении фундаментальных задач, таких как сохранение биоразнообразия живого мира [41].

Таким образом, снять методологические ограничения, разработать единые общепризнанные подходы в изучении одной из сложных в систематическом отношении групп грибов – дискомицетов возможно лишь на основе дальнейших комплексных междисциплинарных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно данным литературы, история изучения представителей группы порядков Дискомицеты насчитывает более тысячи лет, и упоминания об отдельных организмах и попытках их классификации есть в трудах античных ученых. В XIX веке была предложена микологическая номенклатура, которая послужила отправной точкой для современной классификации дискомицетов. Однако, существовала проблема отсутствия четко определенных диагностических признаков, которые могли бы служить надежными критериями выделения таксонов указанной полифилетической группы грибов. Кроме того, в настоящее время отсутствует единая открытая база верифицированных типовых гербарных образцов видов дискомицетов. С появлением современной микроскопической техники данные о систематике дискомицетов постоянно пополнялись. Существенный вклад в последние десятилетия внесло внедрение молекулярно-генетических исследований дискомицетов. На современном этапе развития микологических исследований наметился определенный прогресс в изучении биоразнообразия дискомицетов. Одной из главных проблем классификации дискомицетов остается синонимика, и современные ученые работают над ее решением.

Работа выполнена в рамках проекта ЦСБС СО РАН АААА-А21-121011290027-б «Теоретические и прикладные аспекты изучения генофондов природных популяций растений и сохранения растительного разнообразия «вне типичной среды обитания» (ex situ)»

Список литературы

1. Богачева А. В. Пецицевые дискомицеты российского Дальнего Востока / Богачева А. В. // Известия Иркутского государственного университета. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 135–143.
2. Богачева А. В. Дискомицеты заповедников Приморского края. автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05, 03.00.24. / Богачева А. В. – Владивосток, 1997. – 22 с.
3. Богачева А. В. Дискомицеты как часть растительных сообществ заповедников Приморского края / Богачева А. В. // Комаровские чтения. – 1998. – № 45. – С. 73–88.
4. Прохоров В. П. Весенние и осенние дискомицеты. / Прохоров В. П., Теплова Л. П. – Чебоксары: Чуваш. кн. изд-во, 1982. – 32 с.
5. Леонтьев Д. В. Общая микология: Учебник для высших учебных заведений. / Леонтьев Д. В., Акулов О. Ю. – Харьков: «Основа», 2007. – 206 с.
6. Феофраст. Исследование о растениях / Перевод с древнегреческого и примечания М. Е. Сергеевко. – М.: Издательство АН СССР, 1951. – 591 с.
7. Ramsbottom J. Some notes on the history of the classification of the Discomycetes / Ramsbottom J. // Transactions of the British Mycological Society. – 1912–1913. – Volume 4. – P. 382–404.

8. Natural history by Pliny, the Elder in ten volumes. – 1938. – Vol V. – 543 p. Translated by W. H. S. Jones with A. C. Andrews. 1056 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://archive.org/details/naturalhistory05plinuoft> (Дата обращения: 20.03.2022)
9. Домострой. По рукописям Императорской публичной библиотеки / В. Яковлев. Санкт-Петербург: Издание Д. Е. Кожанчикова, 1867. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://tvreparhia.ru/biblioteka-2/d/1759-domostroj> (Дата обращения: 20.03.2022)
10. Clusius C. Rariorum plantarum historia. / Clusius C. – 1601. – Vol. 2. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://plantillustrations.org/volume.php?id_volume=5371 (Дата обращения 20.03.2022).
11. Sterbeeck F. van. Theatrum fungorum oft het tooneel der campernoelien. / Sterbeeck F. – Belgium, 1675. – 396 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/160697#page/470/mode/1up> (Дата обращения 18.03.2022).
12. Dillenius J. J. Catalogus plantarum sponte circa Gissam nascentium. / Dillenius J. J. – 1719. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bibdigital.rjb.csic.es/ldurl/1/10875> (Дата обращения 31.01.2022).
13. Linnaeus C. Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis (in Latin) (10th ed.). Stockholm: Laurentius Salvius. / Linnaeus C. – 1758. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10277#page/3/mode/1up> (Дата обращения: 28.03.2021).
14. Micheli P. A. Nova plantarum genera. / Micheli P. A. – 1729. – 234 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bibdigital.rjb.csic.es/viewer/11953/?offset=#page=254&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=> (Дата обращения: 28.03.2021).
15. Cullen W. Lectures on the materia medica. / Cullen W. – 1761 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://books.google.ru/books?id=GP01AQAAMAAJ> (Дата обращения: 31.03.2021).
16. Прохоров В. П. Определитель грибов России. Дискомицеты. Вып. 1. Копротрофные виды. / Прохоров В. П. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 256 с.
17. Kimbrough J. W. Current Trends in the Classification of Discomycetes / Kimbrough J. W. // Botanical Review. – 1970. – Vol. 36, No. 2. – P. 91–161.
18. Смицкая М. Ф. Флора грибов Украины. Оперкулятные дискомицеты / Смицкая М. Ф. – Киев: Наук. думка, 1980. – 294 с.
19. Попов Е. С. Дискомицеты Северо-Запада европейской части России (Ленинградская, Новгородская, Псковская области, г. Санкт-Петербург): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.24. / Попов Е. С. – СПб, 2005. – 22 с.
20. Переведенцева Л. Г. Микология: грибы и грибоподобные организмы: учеб. пособие / Переведенцева Л. Г. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. – 199 с.
21. Ратвийр А. Дискомицеты из Армении и Азербайджана / Ратвийр А. // Биологический журнал Армении. – 1968. – Т. XXI, № 8. – С. 3–11.
22. Сирко А. В. Сумчатые грибы Урала и закономерности их распространения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. / Сирко А. В. – Свердловск, 1971. – 27 с.
23. Наумов Н. А. Флора грибов Ленинградской области. Вып. 2. Дискомицеты. / Наумов Н. А. – М.; Л.: Наука, 1964. – 256 с.
24. Флора споровых растений Казахстана. Т.9: Дискомицеты / ред. С. Р. Шварцман. – Алма-Ата: Наука, 1976. – 328 с.
25. Прохоров В. П. Дискомицеты Алтайского государственного заповедника II. Порядок Pezizales / Прохоров В. П. // Микол. и фитопатол. – 1996. – Т. 33. Вып. 6. – С. 376–379.
26. Прохоров В. П. Изучение видового разнообразия дискомицетов центральной России / Прохоров В. П., Анисимова О. В., Барсукова Т. Н. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=750733> (дата обращения: 06.09.2021).
27. Попов Е. С. Микобиота Белорусско-Валдайского Поозерья / Попов Е. С., Коваленко А. Е., Гапиенко О. С. и др. // Издательство Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК (Москва), 2013. – 399 с.
28. Попов Е. С. Дискомицеты Ботанического сада Петра Великого / Попов Е. С. // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Ботанического института им. В. Л. Комарова Российской академии наук): Труды международной научной конференции / Отв. ред. Д. В. Гельтман. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – С. 166–169.

29. Филиппова Н. В. Дискомицеты растительного опада верховых болот (Западная Сибирь) / Филиппова Н. В. // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2012. – Т. 3. № 1. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.ugrasu.ru/upload/iblock/3a1/afhluiy4oxzlw56ixi7kj81dqt4bfof.pdf> (дата обращения: 06.03.2022). <https://doi.org/10.17816/edgcc311-20>
30. Филиппова Н. В. Сообщества верховых болот средней тайги Западной Сибири: дисс. ... канд. биол. наук. / Филиппова Н. В. – Новосибирск, 2016. – 143 с.
31. Filippova N. Fungal literature records database of the Northern West Siberia (Russia). / Filippova N., Arefyev S., Zvyagina E., Kapitonov V., Makarova T., Mukhin V., Sedelnikova N., Stavishenko I., Shiryayev A., Tolpysheva T., Ryabitseva N., Paukov A. // Biodiversity Data Journal. 2020. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e52963> (дата обращения: 06.03.2022).
32. Богачева А. В. Грибы. Дискомицеты / Богачева А. В. // Растительный мир Сихотэ-Алинского биосферного заповедника: разнообразие, динамика, мониторинг. – Владивосток, 2000. – С. 67–83.
33. Богачева А. В. Дополнительные сведения о микобиоте дискомицетов Ботчинского государственного природного заповедника (Хабаровский край) / Богачева А. В. // Микология и фитопатология. – 2017. – Т. 51. № 3. – С. 19–25.
34. Богачева А. В. Новые и интересные находки дискомицетов на территории Хабаровского края / Богачева А. В. // Биота и среда заповедных территорий. – 2018. – № 2. – С. 41–53.
35. Богачева А. В. Дополнительные сведения о микобиоте дискомицетов Уссурийского заповедника / Богачева А. В. // Биота и среда заповедных территорий. – 2019. – Т. 3. – С. 65–70.
36. Persoon C. H. Apud Henricum Dieterich. / Persoon C. H. // Synopsis methodica fungorum. – 1801. – 706 p. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://books.google.ru/books/about/Synopsis_methodica_fungorum.html (Дата обращения: 28.03.2021).
37. Федосова А. Г. Семейство Geoglossaceae (Ascomycota) в России: дисс. ... канд. биол. наук. / Федосова А. Г. – Санкт-Петербург, 2019. – 293 с.
38. Змитрович И. В. Определитель грибов России. Семейства ателиевые и амилокортициевые. / Змитрович И. В. – 2008. – 288 с.
39. Cooke M. C. Introduction to the Study of Fungi: their organography, classification, and distribution. For the use of collectors. / Cooke M. C. – Adam & Charles Black, London, 1895. – 360 p.
40. Шнырева А. В. Молекулярно-генетические подходы в систематике грибов: настоящее и будущее / Шнырева А. В., Шнырева А. А. // Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии: материалы Всероссийской конференции с международным участием, Екатеринбург, 20–24 апреля 2015 г. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. – С. 290–291.
41. Фитопатогенные грибы (морфология и систематика): учеб. пособие / В. П. Сокирко, В. С. Горьковенко, М. И. Зазимко. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 178 с.
42. Kirk P. M. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 10th edition. CAB International. / Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W., Stalpers J. A. – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://books.google.ru/books/about/Ainsworth_Bisby_s_Dictionary_of_the_Fung.html?id=IFD4_VFRDdUC&redir_esc=y (Дата обращения: 20.03.2022).
43. Pfister D. H. Discomycetes / Pfister D. H., Kimbrough J. W. // Mycota VII (A). – 2000. – P. 257–281.
44. Guarro J. Developments in Fungal Taxonomy / Guarro J., Gene J., Stchigel A. M. // Clinical microbiology reviews. – 1999. – P. 454–500.
45. Korf R. P. Can we really afford an International Code of Mycological Nomenclature / Korf R. P. // Mycotaxon. – 2009. – Vol. 110. – P. 505–507.
46. Vu D. Convolutional neural networks improve fungal classification. / Vu D., Groenewald M., Verkley G. // Sci Rep. – 2020. – 10. – 12628 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69245-y> (Дата обращения: 01.09.2021)
47. Маслова Н. Современные исследования коэволюционных связей ископаемых растений и грибов: успехи, проблемы, перспективы / Маслова Н., Тобиас А., Кодрул Т. // Палеонтологический журнал. – 2021. [Электронный ресурс] Режим доступа: 10.31857/S0031031X21010086 (Дата обращения: 01.09.2021)

48. Стахеев А. А. Молекулярно-генетические методы в исследовании таксономии и специфической идентификации токсинпродуцирующих грибов рода *Fusarium*: успехи и проблемы / Стахеев А. А., Самохвалова Л. В., Рязанцев Д. Ю., Завриев С. К. // Сельхозбиология. – 2016. – №3. – С. 275–284.
49. Юрков А. П. Молекулярно-генетическая идентификация грибов арбускулярной микоризы / Юрков А. П., Крюков А. А., Горбунова А. О., Кожемяков А. П., Степанова Г. В., Мачс Э. М., Родионов А. В., Шишова М. Ф. // Экологическая генетика. – 2018. – №2. – С. 11–23. doi: 10.17816/ecogen16211-23

THE CURRENT STATE OF KNOWLEDGE OF THE GROUP OF ORDERS OF DISCOMYCETES (PHYLUM ASCOMYCOTA)

Filimonova D. A.¹, Vorob'eva I. G.^{1,2}

¹*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation*

²*Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

E-mail: darya.filimonova@gmail.com

This paper presents the change of ideas about discomycetes from ancient times to the present, reflects the main research methods of this group of fungi, changing over time, and also assesses the existing problems in this field of research based on the available material. Discomycetes is a polyphyletic group of marsupial fungi that does not have a generally recognized taxonomic rank. Its representatives are found in almost all plant communities. They are not only destructors of plant residues, but also enhance the competitiveness of higher plants in the fight for minerals, dispose of animal waste products, act as an important component of soil formation, are an indispensable condition for the successful settlement of post-fire territories and contribute to the culling of weak plants, having a pathogenic effect. These fungi are widespread in all climatic zones and constitute an important functional link of ecosystems. Discomycetes are united by the structure of the fruit body in the form of apothecia. Representatives of this group of fungi are characterized by morphological, biological and ecological features. They can differ significantly in appearance (size, color, consistency, structure of the edge of the fruit body, habitat, structure of ascospores). According to their proximity to the substrate, they are divided into the following ecological groups: growing on forest litter, litter (humus-litter saprotrophs, or edaphophiles), directly on the soil (ground saprotrophs), on the remains of herbaceous plants (herbophiles, phyllophiles), on dead wood (lignophiles), on the soil of bonfires and fires (carbophiles), on animal droppings (coprophiles). Discomycetes of these ecological groups develop on an inanimate organic substrate, that is, they are saprotrophs. Along with other organisms, they actively participate in the process of decomposition of various plant residues and mineralization of organic matter in the soil. Despite the fact that in the recent times scientists are interested this group of fungi, the study of this group remains in a low level and is uneven around the globe. For most regions, data on the species composition of discomycetes are absent or are fragmentary and often not confirmed by herbarium material, or are largely outdated and in need of critical revision. Work on the conservation and restoration of

biological diversity, as well as on the introduction of this group of organisms into biotechnological processes, is impossible without an inventory and a detailed study of the spread of discomycetes in natural and anthropogenic communities. Currently, a thorough study of regional mycobiotes is becoming particularly relevant, which will allow an in-depth analysis of the functional role of discomycetes in natural ecosystems and the patterns of their distribution throughout the country in the future. The purpose of the work is to summarize the available information on the history of the study of fungi of the group of orders of Discomycetes and the current state of the issue based on the analysis of national and foreign literature. According to the literature, the history of studying representatives of the Discomycete group of orders has more than a thousand years, and there are references to individual organisms and attempts to classify them in the works of ancient scientists. In the XIX century, a mycological nomenclature was proposed, which served as a starting point for the modern classification of discomycetes. However, there was a problem of the lack of clearly defined diagnostic features that could serve as reliable criteria for the allocation of taxa of the specified polyphyletic group of fungi. In addition, there is currently no single open database of verified standard herbarium specimens of discomycetes species. With the advent of modern microscopic technology, data on the systematics of discomycetes were constantly updated. A significant contribution in recent decades has been made by the introduction of molecular genetic studies of discomycetes. At the present stage of development of mycological research, there has been some progress in the study of the biodiversity of discomycetes. Synonymy remains one of the main problems of classification of discomycetes, and modern scientists are working on its solution.

Keywords: discomycetes, systematics of discomycetes, biological diversity, history of the study of discomycetes.

References

1. Bogacheva A. V. Pezizales discomycetes of the Russian Far East, *The Bulletin of Irkutsk State University*, **5**, **4**, 135 (2012) (in Russian).
2. Bogacheva A. V. *Discomycetes of nature reserves of Primorsky Krai*, PhD thesis, 22 p. (Vladivostok, 1997) (in Russian).
3. Bogacheva A. V. Discomycetes as part of the plant communities of the reserves of Primorsky Krai, *Komarovsky readings*, **45**, 73 (1998) (in Russian).
4. Prokhorov V. P., Teplova L. P. *Spring and autumn discomycetes*, 32 (Cheboksary: Chuvash. publishing house, 1982) (in Russian).
5. Leontiev D. V., Akulov O. Yu. *General mycology: Textbook for higher educational institutions*, 206 (Kharkiv: "Osnova", 2007) (in Ukrainian).
6. *Research about plants*, Translation from Ancient Greek and notes by M. E. Sergeenko, 591 (M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951) (In Russian)
7. Ramsbottom J. Some notes on the history of the classification of the Discomycetes, *Transactions of the British Mycological Society*, **4**, 382 (1912–1913).
8. *Natural history by Pliny, the Elder in ten volumes*, **V**, 543 (1938). Translated by W. H. S. Jones with A. C. Andrews. 1056 p. [Electronic resource] Access mode: <https://archive.org/details/naturalhistory05plinuoft> (Date of access: 20.03.2022)
9. Yakovlev V. *Domostroy. According to the manuscripts of the Imperial Public Library* (St. Petersburg: Edition of D. E. Kozhenchikov, 1867) [Electronic resource] Access mode <http://tvereparhia.ru/biblioteka-2/d/1759-domostroj> (Date of access: 20.03.2022)
10. Clusius C. *Rariorum plantarum historia*, **2**, (1601) [Electronic resource] Access mode: http://plantillustrations.org/volume.php?id_volume=5371 (Date of access: 20.03.2022).

11. Sterbeeck F. van. *Theatrum fungorum oft het tooneel der campernoelien*, 396 (Belgium, 1675) [Electronic resource] Access mode: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/160697#page/470/mode/1up> (Date of access: 18.03.2022).
12. Dillenius J. J. *Catalogus plantarum sponte circa Gissam nascentium* (1719) [Electronic resource] Access mode: <https://bibdigital.rjb.csic.es/duurl/1/10875> (Date of access: 31.01.2022).
13. Linnaeus C. *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis* (in Latin) (10th ed.). (Stockholm: Laurentius Salvius, 1758). [Electronic resource] Access mode: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10277#page/3/mode/1up> (Date of access: 28.03.2021).
14. Micheli P. A. *Nova plantarum genera*, 234 (1729) [Electronic resource] Access mode: <https://bibdigital.rjb.csic.es/viewer/11953/?offset=#page=254&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=> (Дата обращения: 28.03.2021).
15. Cullen W. *Lectures on the materia medica* (1761) [Electronic resource] Access mode: <https://books.google.ru/books?id=GP01AQAAMAAJ> (Date of access: 31.03.2021).
16. Prokhorov V. P. *Identifier of mushrooms of Russia. Discomycetes, 1*, Coprotrophic species, 256 (Moscow: Association of Scientific Publications of the CMC, 2004). (in Russian)
17. Kimbrough J. W. Current Trends in the Classification of Discomycetes, *Botanical Review*, **36**, **2**, 91 (1970).
18. Smitskaya M. F. *Flora of mushrooms of Ukraine. Operculate discomycetes*, 294 (Kiev: Nauk. dumka, 1980) (in Russian)
19. Popov E. S. *Discomycetes of the North-West of the European part of Russia* (Leningrad, Novgorod, Pskov regions, St. Petersburg): PhD thesis, 22 (SPb, 2005). (in Russian).
20. Perevedentseva L. G. *Mycology: fungi and mushroom-like organisms: textbook*, 199 (Perm state university. Perm, 2009) (in Russian).
21. Ratviyr A. Discomycetes from Armenia and Azerbaijan, *Biological Journal of Armenia*, **XXI**, **8**, 3 (1968). (in Russian)
22. Sirko A. V. *Ascomycetes of the Urals and the patterns of their distribution*: PhD thesis, 27 (Sverdlovsk, 1971) (in Russian).
23. Naumov N. A. *Flora of mushrooms of the Leningrad region*, **2**, Discomycetes, 256 (M.; L.: Nauka, 1964) (in Russian).
24. *Flora of spore plants of Kazakhstan*, **9**, Discomycetes, ed. by S. R. Shvartsman, 328 (Alma-Ata: Nauka, 1976) (in Russian).
25. Prokhorov V. P. Discomycetes of the Altai State Reserve II. The order of Pezizales, *Mycology and phytopathology*, **33**, **6**, 376 (1996) (in Russian).
26. Prokhorov V. P., Anisimova O. V., Barsukova T. N. *Study of the species diversity of discomycetes of central Russia*, [Electronic resource] Access mode: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=750733> (Date of access: 06.09.2021). (in Russian)
27. Popov E. S., Kovalenko A. E., Gapienko O. S., etc. *Mycobiota of Belarusian-Valdai Lakeland*, 399 (Publishing House Limited Liability Company Partnership of Scientific Publications KMK (Moscow): 2013) (in Russian).
28. Popov E. S. *Discomycetes of the Peter the Great Botanical Garden*, Botany: history, theory, practice (to the 300th anniversary of the founding of the V. L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences): Proceedings of the International Scientific Conference, Ed. by D. V. Geltman, 166 (SPb.: Publishing House of ETU "LETI", 2014) (in Russian).
29. Filippova N. V. *Discomycetes from plant, leave and sphagnum litter in ombrotrophic bog (West Siberia)*, Environmental Dynamics and Global Climate Change, **3** (**1**), (2012) [Electronic resource] Access mode: <https://www.ugrasu.ru/upload/iblock/3a1/aflhluiy4oxzlw56ixi7kj81dqt4bfof.pdf> (Date of access: 06.03.2022). <https://doi.org/10.17816/edgcc311-20> (in Russian).
30. Filippova N. V. *Communities of the upper marshes of the middle taiga of Western Siberia*. PhD thesis. 143 (Novosibirsk, 2016) (in Russian).
31. Filippova N., Arefyev S., Zvyagina E., Kapitonov V., Makarova T., Mukhin V., Sedelnikova N., Stavishenko I., Shiryaev A., Tolpysheva T., Ryabitseva N., Paukov A. *Fungal literature records database of the Northern West Siberia* (Russia), Biodiversity Data Journal (2020). [Electronic resource] Access mode: <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e52963> (Date of access: 06.03.2022).

32. Bogacheva A. V. *Mushrooms. Discomycetes*, Flora of the Sikhote-Alinsky Biosphere Reserve: diversity, dynamics, monitoring, 67 (Vladivostok, 2000) (in Russian).
33. Bogacheva A. V. Additional information about mycobiota of discomycetes of Botchinsky State Nature Reserve (Khabarovsk Krai), *Mycology and Phytopathology*, **51**, **3**, 19 (2017) (in Russian).
34. Bogacheva A. V. New and interesting finds of discomycetes on the territory of the Khabarovsk Territory, *Biota and environment of protected areas*, **2**, 41 (2018) (in Russian).
35. Bogacheva A. V. Additional information about the mycobiota of discomycetes of the Ussuri Reserve, *Biota and environment of protected areas*, **3**, 65 (2019) (in Russian).
36. Persoon C. H. *Apud Henricum Dieterich. Synopsis methodica fungorum*, 706 (1801). [Electronic resource] Access mode: https://books.google.ru/books/about/Synopsis_methodica_fungorum.html (Date of access: 28.03.2021).
37. Fedosova A. G. *Family Geoglossaceae (Ascomycota) in Russia*: PhD thesis, 293 (St. Petersburg, 2019) (in Russian).
38. Zmitrovich I. V. *Identification of mushrooms of Russia. The Atelium and Amylocorticium families*, 288 (2008) (in Russian).
39. Cooke M. C. *Introduction to the Study of Fungi: their organography, classification, and distribution. For the use of collectors*, 360 (Adam & Charles Black, London, 1895).
40. Shnyreva A. V., Shnyreva A. A. *Molecular genetic approaches in the systematics of fungi: present and future*, Biodiversity and ecology of fungi and mushroom-like organisms of Northern Eurasia: proceedings of the All-Russian Conference with international participation, 290 (Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2015) (in Russian).
41. Sokirko V. P., Gorkovenko V. S., Zazimko M. I. *Phytopathogenic fungi (morphology and systematics): textbook*, 178 (Krasnodar: KubGAU, 2014) (in Russian).
42. Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W., Stalpers J. A. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 10th editon. CAB International*. [Electronic resource] Access mode: https://books.google.ru/books/about/Ainsworth_Bisby_s_Dictionary_of_the_Fung.html?id=IFD4_VFRDdUC&redir_esc=y (Date of access: 20.03.2022).
43. Pfister D. H., Kimbrough J. W. *Discomycetes*, Mycota VII (A), 257 (2000).
44. Guarro J., Gene' J., Stchigel A. M. Developments in Fungal Taxonomy, *Clinical microbiology reviews*, 454 (1999).
45. Korf R. P. Can we really afford an International Code of Mycological Nomenclature, *Mycotaxon*, **110**, 505 (2009).
46. Vu D., Groenewald M., Verkley G. Convolutional neural networks improve fungal classification, *Sci Rep.*, **10**, 12628 (2020) [Electronic resource] Access mode: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69245-y> (Date of access: 01.09.2021).
47. Maslova N., Tobias A., Kodrul T. Recent Studies of Co-Evolutionary Relationships of Fossil Plants and Fungi: Success, Problems, Prospects, *Paleontological Journal* (2021). [Electronic resource] Access mode: 10.1134/s0031030121010081 (Date of access: 01.09.2021) DOI: 10.1134/s0031030121010081
48. Staheev A. A., Samokhvalova L. V., Ryazantsev D. Yu., Zavriev S. K. Molecular genetic approaches for investigation of taxonomy and specific identification of toxin-producing Fusarium species: Achievements and problems (review), *Agricultural biology*, **3**, 275 (2016) (in Russian).
49. Yurkov A. P., Kryukov A. A., Gorbunova A. O., Kozhemyakov A. P., Stepanova G. V., Machs E. M., Rodionov A. V., Shishova M. F. Molecular genetic identification of arbuscular mycorrhizal fungi, *Ecological genetics*, **2**, 11 (2018) doi: 10.17816/ecogen16211-23 (in Russian).

УДК 582.572.4:581.436

ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИИ ВОЗДУШНЫХ КОРНЕЙ

***CLIVIA MINIATA* LINDL. (BOSSE.)**

Черятова Ю. С., Митичкин Д. Е.

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

В статье представлены результаты изучения анатомического строения воздушных корней *Clivia miniata* (Amaryllidaceae), широко культивируемой в декоративном садоводстве. Придаточные по происхождению воздушные корни растения на всем протяжении сохраняли первичное анатомическое строение и были покрыты веламеном. Клеточные стенки веламена формировали внутренние спиральные утолщения, а их тонкие места были снабжены перфорациями. Первичная кора корня начиналась экзодермой, которая наряду с эндодермой, выполняла пропускную функцию. Центральный цилиндр воздушных корней *C. miniata* представлен однослойным перициклом и полиархным радиальным проводящим пучком. Экспериментально установлено, что анатомическая адаптация *C. miniata* к периодическим засушливым условиям, привела к возникновению воздушных корней, длительно сохраняющих на своей поверхности веламен.

Ключевые слова: *Clivia miniata*, Amaryllidaceae, воздушные корни, веламен, анатомический анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Представители семейства Амариллисовых (Amaryllidaceae) распространены как в тропических, так и в субтропических регионах земного шара, но занимают видное место в трех различных географических точках, включая Андские районы Южной Америки, Средиземноморский бассейн и юг Африки. Эдафические факторы для этих растений имеют важнейшее значение, однако они проявляются на фоне общеклиматических условий. Одним из растений, которое в последнее время привлекает внимание ученых, является кливия киноварная (*Clivia miniata*) – многолетнее корневищное декоративное растение, широко культивируемое в оранжерейной и комнатной культуре [1]. Растение также применяется в традиционной медицине. В лекарственных целях используют в основном корневище с корнями, которые содержат алкалоиды ликорин, кливмин и кливатин [2]. Лекарственные препараты на основе кливии применяют при лихорадке, а также проведении комплексной противоопухолевой терапии [3].

В литературе приводится морфологическое описание воздушных корней кливии [4]. Однако в настоящее время литературные данные об анатомическом строении воздушных корней кливии отсутствуют. Необходимо при этом добавить, что работы, посвященные изучению анатомии воздушных корней цветковых растений, немногочисленны. В основном достаточно хорошо изучены лишь корни эпифитных Орхидных и некоторых Ароидных [4–6]. Знание анатомического строения

воздушных корней растений необходимо для лучшего понимания морфологической дифференциации корней, что поможет ближе подойти к пониманию механизмов адаптации растений к экологическим условиям произрастания [7–12]. Более того, анатомический анализ является важным методом идентификации лекарственного растительного сырья различных морфологических групп [13]. Поэтому результаты работы могут послужить основой при проведении фармакогностического анализа лекарственного сырья корней *C. miniata*.

Как известно, у растений существуют разнообразные механизмы избегания высыхания (опасного уменьшения гидратуры протопласта), с помощью которых им удается при сухости воздуха и почвы сохранять как можно дольше хорошее состояние воды в тканях. Это достигается различными путями. В отношении *C. miniata* есть литературные сведения о том, что растение преодолевает засушливый период путем запаса воды в воздушных корнях [14, 15]. Поэтому изучение особенностей анатомии воздушных корней кливии является актуальным исследованием в области экологии растений.

Целью работы являлось установление анатомических особенностей воздушных корней *C. miniata*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная работа проводилась на кафедре ботаники, селекции и семеноводства садовых растений ФГБОУ ВО Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева в 2021 году. Объектами исследования служили свежесобранные воздушные корни растений *C. miniata*, полученные из фондовой оранжереи Главного ботанического сада имени Н. В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН). Для микроскопического анализа готовили временные водно-глицериновые окрашенные микропрепараты поперечных срезов корней 10 модельных растений (в 5-ти кратной повторности) по методике Ю. С. Черятовой [16]. Исследование проводили с помощью микроскопа Carl Zeiss Primo Star и цифровой фотокамеры Canon Digital IXUS 105.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Воздушные корни *C. miniata* адвентивные, закладывались на базальной части стебля растения. У воздушных корней растения, помимо морфологического строения, обнаруживается целый ряд особенностей анатомического и физиологического свойства. В анатомической структуре воздушных корней *C. miniata* можно было выделить следующие анатомо-топографические зоны: покровную ткань, первичную кору и центральный цилиндр. Воздушные корни *C. miniata* снаружи покрыты многослойным веламеном, число слоев клеток которого в корнях варьировалось от 7 до 10 (рис. 1 а).

В молодых воздушных корнях веламен молочно-белого цвета, а в более зрелых корнях становился темнее. Веламен формировался в онтогенезе корня растения из дерматогена. Дерматоген, дифференцируясь в веламен, подвергался периклинальным делениям клеток, в результате чего образовывался многослойный

покров. Клетки веламена многогранные, почти изодиаметричны, несколько вытянуты в направлении радиуса корня. Клеточные стенки веламена характеризовались внутренними спиральными утолщениями. Более тонкие места клеточных стенок были снабжены перфорациями. Вследствие этого, сформировавшийся веламен представлял собой систему капиллярных пространств сообщающихся между собой и с внешней средой. Известно, что веламен может всасывать воду в количестве до 80 % от веса корня. Имея веламен, воздушные корни могут поглощать и хранить в большом количестве не только капельно-жидкую воду, но и конденсировать водяные пары атмосферы.

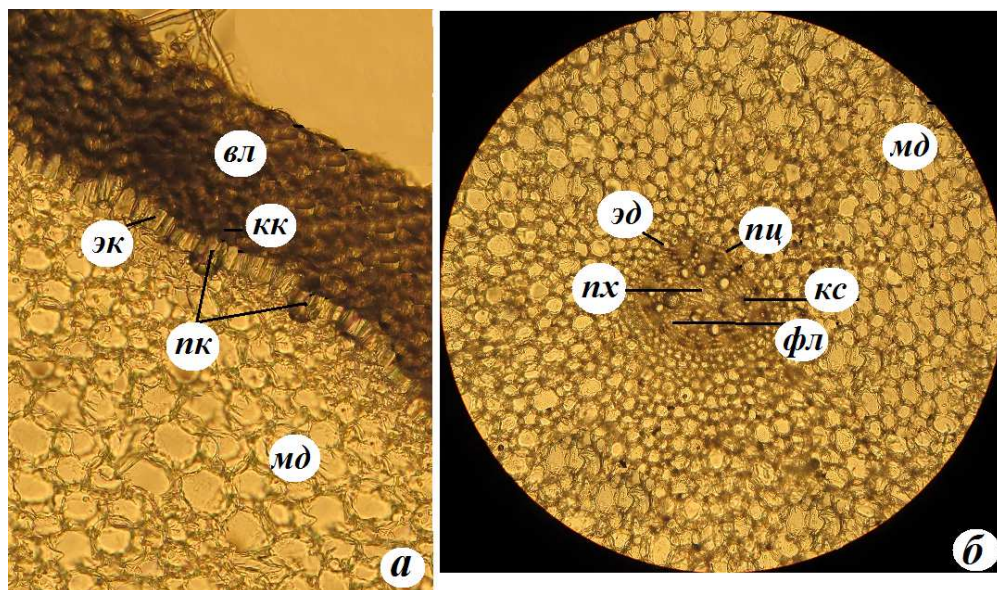


Рис. 1. Анатомическое строение поперечного среза воздушного корня *Clivia miniata*. Условные обозначения: *а* – покровные ткани корня ($\times 200$): *вл* – многослойный веламен; *кк* – кроющие клетки веламена; *э* – экзодерма; *пк* – пропускные клетки экзодермы; *мд* – мезодерма; *б* – центральная часть корня ($\times 100$): *мд* – мезодерма; *эд* – эндодерма; *пц* – однослойный перицикл; *кx* – первичная ксилема; *фл* – первичная флоэма; *пх* – паренхима.

Воздушные корни кливии, достигая почвы, укоренялись. Структурной их особенностью было то, что при этом они не утрачивали свой покров из веламена. В подземных (укорененных воздушных) корнях веламен характеризовался светло-коричневой окраской благодаря пигментации.

За веламеном располагалась экзодерма первичной коры корня, состоящая из полиэдрических клеток, тесно соединенных друг с другом радиальными стенками. Клеточные стенки экзодермы были заметно утолщены и суберинизированы. Значение экзодермы в воздушных корнях резко отличается от корней, лишенных веламена. Известно, что у большинства корней экзодерма, благодаря суберинизации

клеток, несет лишь функцию защитной покровной ткани после отмирания эпиблемы. В воздушных корнях *C. miniata* экзодерма выполняла пропускную функцию наряду с эндодермой. В экзодерме корней растения есть особые пропускные клетки – тонкостенные живые короткие клетки, через которые вода подается из веламена во внутреннюю часть первичной коры, а оттуда большая часть воды направляется в ксилему центрального цилиндра. Клетки веламена, примыкающие к пропускным клеткам – кроющие, отличались от других клеток формой и структурой внутренней стенки.

За экзодермой в корне следовала многослойная мезодерма. Мезодерма состояла из живых круглых паренхиматических клеток, расположенных радиальными рядами, в которых размер клеток уменьшается внутрь корня. Внутренний слой коры – эндодерма содержала пропускные клетки, расположенные напротив ксилемных лучей. Особенностью воздушных и подземных корней является то, что она на всем протяжении находится на первой ступени своего развития. Клетки эндодермы были тесно соединены между собой.

Центральный цилиндр воздушных и подземных корней *C. miniata* представлен однослойным перициклом и полиархным радиальным проводящим пучком (рис. 1 б). К перициклу на равных расстояниях по периферии примыкали ксилемные группы радиального проводящего пучка. В этих группах снаружи располагались мелкие кольчатые и спиральные сосуды, а дальше выделялись более крупные пористые сосуды в центральной части. Группы клеток ксилемы расширялись к центру и суживаются к периферии, в связи с чем, ксилема воздушных корней приобретала лучистый характер. Число лучей первичной ксилемы изменялось по длине одного и того же корня – от 12 до 16. Здесь следует отметить, что отличительным структурным признаком воздушных корней *C. miniata* можно рассматривать амплитуду количества лучей ксилемы радиального пучка, абсолютное число которых не является наследственно закрепленным признаком. Чередуюсь с лучами ксилемы, располагались группы первичной флоэмы, состоящей из ситовидных трубок с сопровождающими клетками и лубяной паренхимой. Флоэмные группы не заходили так глубоко к центру корня, как сосуды ксилемы. Центральная часть корня была занята неспециализированной паренхимой. Эту центральную паренхиму, с прослойками паренхимы между ксилемой и флоэмой и с перициклом, можно рассматривать как одну ткань центрального цилиндра. В заключении следует особо отметить, что веламен и структура первичной коры сохранялась даже у старых подземных корней *C. miniata*. С возрастом корня возрастало лишь число одревесневших элементов в его центральной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В анатомическом строении воздушных корней *C. miniata* обнаруживаются зримые черты экологической приспособленности к условиям произрастания и водоснабжения. Морфо-функциональная адаптация *C. miniata* к периодическим засушливым условиям повлекла за собой возникновение анатомических особенностей корней растения, длительно сохраняющих на своей поверхности веламен. Поэтому гистологические особенности воздушных корней кливии связаны

с функциональной и структурной пластичностью в результате приспособительной эволюции растений. Поскольку *C. miniata* происходит из Южной Африки, она приспособлена к жизни на периодически пересыхающих почвах. При наступлении дождливого периода веламен на корнях растения быстро всасывает влагу, которая отчасти хранится в запасе. Очевидно, что в сухой сезон года мертвые клетки веламена подземных корней *C. miniata* заполнены воздухом и служат в качестве защитной ткани. А при увлажнении почвы вода входит в веламен в силу капиллярности и используется корнями растения. Таким образом, можно рассматривать *C. miniata* как гидростабильный вид, поддерживающий и сохраняющий свой водный баланс в течение всего вегетационного периода достаточно выравненным. Стабилизации баланса растения способствуют резервы воды в корнях с веламеном. Необходимо также высказать предположение, что побочной функцией веламена может являться тепловая изоляция корней *C. miniata*: покров, как плохой проводник тепла, ослабляет при заполненных воздухом клетках ночное охлаждение корней. Это является очень важной функцией, поскольку низкие температуры почвы ухудшают не только минеральное питание растений, но и снабжение его водой.

Таким образом, в результате проведенного исследования были установлены анатомические особенности строения воздушных корней *C. miniata*, которые могут быть использованы в вопросах экологической анатомии растений и таксономии представителей семейства Amaryllidaceae. Резюмируя, следует сказать, что практическая значимость работы заключается еще и в том, что полученные материалы, визуализированное анатомическое строение корней *C. miniata*, могут быть использованы при составлении анатомических атласов декоративных и лекарственных растений.

Список литературы

1. Капанова Н. Н. Кливия [Виды, агротехника, комнатная культура] / Н. Н. Капанова // Цветы в доме. – 2003. – № 8. – С. 46.
2. Nair J. J. Alkaloids of the South African Amaryllidaceae: a review / J. J. Nair, J. Bastida, C. Codina [et al.] // Natural Product Communications. – 2013. – Vol. 8, No 9. – P. 1335–1350.
3. Nair J. J. Cytotoxicity studies of lycorine alkaloids of the Amaryllidaceae / J. J. Nair, J. Staden // Natural Product Communications. – 2014. – Vol. 9, No 8. – P. 1193–1210.
4. Sanford R. Apogeotropic Roots in an Amazon Rain Forest / R. Sanford // Science, New Series. – 1987. – Vol. 235, No 4792. – P. 1062–1064.
5. Hinchee M. A. W. Morphogenesis of aerial and subterranean roots of *Monstera deliciosa* / M. A. W. Hinchee // Botanical Gazette. – 1981. – Vol. 142, No 3. – P. 347–359.
6. Khatun M. M. In vitro root formation and plantlet development in dendrobium orchid / M. M. Khatun, H. Khatun, D. Khanam [et al.] // Bangladesh Journal of Agricultural Research. – 2010. – Vol. 35, No 2. – P. 257–265.
7. Porembski S. Velamen radicum micromorphology and classification of Orchidaceae / S. Porembski, W. Barthlott // Nordic Journal of Botany. – 1988. – Vol. 8, No 2. – P. 117–137.
8. Mano Y. Varietal difference and genetic analysis of adventitious root formation at the soil surface during flooding in maize and teosinte seedlings / Y. Mano, M. Muraki, M. Fujimori [et al.] // Japanese Journal of Crop Science. – 2005. – Vol. 74, No 1. – P. 41–46.

9. Menezes N. L. Rhizophores in *Rhizophora mangle* L.: an alternative interpretation of so-called «aerial roots» / N. L. Menezes // Annals of the Brazilian Academy of Sciences. – 2006. – Vol. 78, No 2. – P. 213–226.
10. Sheridan R. P. Adaptive morphology of the tropical wet montane epiphyte *Anthurium hookeri* / R. P. Sheridan // Selbyana. – 1994. – Vol. 15, No 2. – P. 18–23.
11. Zotz G. Aerial roots of epiphytic orchids: the velamen radicum and its role in water and nutrient uptake / G. Zotz, U. Winkler // Oecologia. – 2013. – Vol. 171, No 3. – P. 733–741.
12. Wells C. E. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters / C. E. Wells, D. M. Eissenstat // Ecology. – 2001. – Vol. 82, No 3. – P. 882–892.
13. Черятова Ю. С. Актуальные аспекты морфолого-анатомического анализа лекарственного растительного сырья лавровишни лекарственной (*Laurocerasus officinalis*) / Ю. С. Черятова // Экосистемы. – 2020. – Вып. 21, № 1. – С. 85–92.
14. Cybularz-Urban T. Influence of temperature and supplementary lighting on growth and flower initiation of *Clivia miniata* Regel / T. Cybularz-Urban, E. Hanus-Fajerska, A. Swiderski [et al.] // Scientia Horticulturae. – 1996. – Vol. 65, No 1. – P. 65–72.
15. Scheres B. J. G. Digging out Roots: Pattern Formation, Cell Division, and Morphogenesis in Plants / B. J. G. Scheres, R. Heidstra // Current Topics in Developmental Biology. – 1999. – Vol. 45, No 5. – P. 207–247.
16. Черятова Ю. С. Анатомия лекарственных растений и лекарственного растительного сырья: учебное пособие / Ю. С. Черятова. – М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2010. – 95 с.

DETAILS OF AERIAL ROOTS ANATOMY IN *CLIVIA MINIATA* LINDL. (BOSSE.)

Cheryatova Yu. S., Mitichkin D. E.

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

The article presents the results of studying the anatomical structure of the aerial roots of *Clivia miniata* (Amaryllidaceae), widely cultivated in ornamental gardening. Adventitious in origin, the aerial roots of the plant retained their primary anatomical structure throughout their entire length and were covered with velamen. The study of the anatomical structure of aerial roots made it possible to identify anatomical and topographic zones in their structure: integumentary tissue, primary cortex, and central cylinder. The integumentary tissue of aerial roots of *C. miniata* was represented by multilayered velamen. Velamen cells are multifaceted, almost isodiametric, somewhat elongated in the direction of the root radius. The cell walls of the velamen formed internal spiral thickenings, and their thin places were provided with perforations. The formed velamen was a system of capillary spaces communicating with each other and with the external environment.

The primary root cortex began with the exoderm, which, along with the endoderm, performed a throughput function. In the exoderm of aerial roots, thin-walled living short cells were found, through which water from the velamen passed into the inner part of the primary cortex. The multilayered mesoderm consisted of radial rows of thin-walled round cells, the size of which decreased towards the center of the root. In the endoderm, opposite the xylem rays, there were passage cells that ensured the passage of water from the

primary cortex to the central cylinder. Despite the increase in the age of the roots, the velamen and the structure of the primary cortex were preserved throughout their entire length.

The central cylinder of the aerial roots of *C. miniata* is represented by a single-layered pericycle and a polyarchic radial vascular bundle. The xylem groups of the radial conducting bundle adjoined the pericycle at equal distances along the periphery. In these groups, small annular and spiral vessels were located outside, and then larger porous vessels stood out in the central part. Groups of xylem cells expanded towards the center and narrowed towards the periphery, and therefore, the xylem of aerial roots acquired a radiant character. The number of rays of the primary xylem varied along the length of the same root, from 12 to 16.

In the anatomical structure of the aerial roots of *C. miniata*, visible features of ecological adaptation to the conditions of growth and water supply are found. The morphofunctional adaptation of *C. miniata* to periodic arid conditions led to the emergence of anatomical features of plant roots that retain velamen on their surface for a long time. Therefore, the histological features of clivia aerial roots are associated with functional and structural plasticity as a result of the adaptive evolution of plants. Since *C. miniata* originates from South Africa, it is adapted to life on intermittent soils. When the rainy period sets in, velamen on the roots of the plant quickly absorbs moisture, which is partly stored in reserve. Obviously, during the dry season, the dead velamen cells of the underground roots of *C. miniata* are filled with air and serve as a protective tissue. And when the soil is moistened, water enters the velamen due to capillarity and is used by the roots of the plant. Thus, *C. miniata* can be considered as a hydrostable species that maintains and retains its water balance during the entire growing season, fairly even. Stabilization of the balance of the plant is facilitated by water reserves in the roots with velamen. It is also necessary to suggest that a side function of velamen may be the thermal insulation of *C. miniata* roots: the cover, as a poor heat conductor, weakens the nighttime cooling of the roots when the cells are filled with air. This is a very important function, since low soil temperatures impair not only the mineral nutrition of plants, but also their water supply.

As a result of the study, the anatomical features of the structure of the aerial roots of *C. miniata* were established, which can be used in questions of the ecological anatomy of plants and the taxonomy of representatives of the Amaryllidaceae family. The obtained materials, the visualized anatomical structure of the roots of *C. miniata*, can be used in compiling anatomical atlases of ornamental and medicinal plants.

Keywords: *Clivia miniata*, Amaryllidaceae, aerial roots, velamen, anatomical analysis.

References

1. Kapranova N. N. Clivia [Types, agricultural technology, indoor culture], *Flowers in the house*, **8**, 46 (2003).
2. Nair J. J., Bastida J., Codina C. and Viladomat F., Alkaloids of the South African Amaryllidaceae: a review, *Natural Product Communications*, **8**, 1335 (2013).
3. Nair J. J., Staden J., Cytotoxicity studies of lycorine alkaloids of the Amaryllidaceae, *Natural Product Communications*, **8**, 1193 (2014).
4. Sanford R. Apogeotropic Roots in an Amazon Rain Forest, *Science, New Series*, **235**, 1062 (1987).

5. Hinchee M. A. W. Morphogenesis of aerial and subterranean roots of *Monstera deliciosa*, *Botanical Gazette*, **142**, 347 (1981).
6. Khatun M. M., Khatun H., Khanam D. and Al-Amin M. In vitro root formation and plantlet development in dendrobium orchid, *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, **35**, 257 (2010).
7. Porembski S., Barthlott W. Velamen radicum micromorphology and classification of Orchidaceae, *Nordic Journal of Botany*, **8**, 117 (1988).
8. Mano Y., Muraki M., Fujimori M. and Takamizo T. Varietal difference and genetic analysis of adventitious root formation at the soil surface during flooding in maize and teosinte seedlings, *Japanese Journal of Crop Science*, **74**, 41 (2005).
9. Menezes N. L. Rhizophores in *Rhizophora mangle* L.: an alternative interpretation of so-called «aerial roots», *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, **78**, 213 (2006).
10. Sheridan R. P. Adaptive morphology of the tropical wet montane epiphyte *Anthurium hookeri*, *Selbyana*, **15**, 18 (1994).
11. Zotz G., Winkler U. Aerial roots of epiphytic orchids: the velamen radicum and its role in water and nutrient uptake, *Oecologia*, **171**, 733 (2013).
12. Wells C. E., Eissenstat D. M. Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters, *Ecology*, **82**, 882 (2001).
13. Cheryatova Yu. S. Actual aspects of anatomical and morphological research of medicinal plant material of *Laurocerasus officinalis*, *Ecosystems*, **21**, 85 (2020).
14. Cybularz-Urban T., Hanus-Fajerska E., Swiderski A. and De Smedt V. Influence of temperature and supplementary lighting on growth and flower initiation of *Clivia miniata* Regel, *Scientia Horticulturae*, **65**, 65 (1996).
15. Scheres B. J. G., Heidstra R. Digging out Roots: Pattern Formation, Cell Division, and Morphogenesis in Plants, *Current Topics in Developmental Biology*, **45**, 207 (1999).
16. Cheryatova Yu. S. *Anatomy of medicinal plants and medicinal plant raw materials: Textbook*, 95 p. (Moscow: RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev, 2010).

УДК 615.214.3(07)

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН *HORDEUM VULGARE* L. ПРИ ОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н., Сидякин А. И.

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

Выявлены изменения биохимических показателей проростков семян ячменя озимого сорта Огоньковский (*Hordeum vulgare* L.) при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением при превентивном воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ). Так, показано, что при воздействии данного физического фактора отмечается снижение общей активности амилаз, существенное уменьшение активности каталазы, которая меняется в зависимости от содержания NaCl, а также содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте. Данные результаты свидетельствуют о том, что воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вызывает положительные изменения метаболических процессов, вызывает стимуляцию физиологических процессов в прорастающих семенах и развивающихся из них растениях.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты, *Hordeum vulgare* L., амилаза, каталаза, пролин.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время засоление относится к актуальным проблемам растениеводства Республики Крым. В условиях интенсификации сельского хозяйства, важное значение приобретает поиск и использование эффективных способов предпосевной обработки семян с целью получения растений, устойчивых к различным стрессовым условиям внешней среды, в том числе, и к засолению [1, 2]. Показано, что ввод Северо–Крымского канала и расширение площади орошаемых земель привело к обширному вторичному засолению почв. На значительной территории степного Крыма в настоящее время стало невозможно получать высокие урожаи различных сельскохозяйственных культур из-за негативного влияния засоляющих ионов. Засоление почвы создает крайне неблагоприятные условия для произрастания растений [3].

По данным литературы, повышение солеустойчивости возможно и с использованием предпосевной обработки регуляторами роста растений. Брассиностероиды, к которым относится эпибрасинолид (Эпин-экстра) является перспективным для создания эффективных экологически безопасных регуляторов,

повышающих урожайность растений в экстремальных условиях, например, при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением [4].

Перспективным и экологически безопасным техническим приёмом предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур является, превентивная обработка семян культурных растений электромагнитным излучением (ЭМИ) низкой интенсивности, в частности крайне высокой частоты (КВЧ) [5]. В наших предыдущих работах установлено положительное действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на прорастание семян и ростовые процессы *Glycine max L.* как в оптимальных условиях, так и в условиях осмотического стресса. При этом увеличивается энергия прорастания и лабораторная всхожесть в среднем на 8–12 % при моделируемом хлоридном засолении в опытных вариантах по сравнению с контрольными, возрастает интенсивности транспирации в среднем на 48 % и снижению водного дефицита – на 50 % у опытных растений по сравнению с контрольными при хлоридном засолении [6, 7].

Ячмень озимый (*Hordeum vulgare L.*) сорта Огоньковский – одно из ценнейших сельскохозяйственных растений. Зерно ячменя масштабно используют для продовольственных и технических целей и др. Так же, ячмень относится к ценнейшим кормам для животных, в связи с содержанием полноценного белка [8]. На данный момент времени, данные литературы по влиянию низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при осмотическом стрессе на прорастание и изменение морфометрических показателей проростков *Hordeum vulgare L.* отсутствуют.

В связи с вышеперечисленным, целью нашей работы явилось выявление влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на биохимические показатели проростков семян *Hordeum vulgare L.* при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы проводилась на базе кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологии Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского», а также ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика».

Объектом исследований служили семена и проростки ячменя озимого (*Hordeum vulgare L.*) сорта Огоньковский.

Для превентивного воздействия ЭМИ КВЧ на экспериментальные семена использовали терапевтический генератор «КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ – 01» (длина волны – 7,1 мм; частота излучения – 42,3 ГГц; плотность потока мощности облучения – 0,1 мВт/см², экспозиция 30 минут)

Определение суммарной активности амилаз проводилась выделением амилаз раствором NaCl, инкубацией их со стандартным раствором крахмала в течении заданного промежутка времени и, наконец, калориметрическое определение негидролизованного амилазами остаточного крахмала [9]. Навеску 4 г растирали с песком в охлажденной фарфоровой ступке с холодным 1 % раствором NaCl в соотношении 1:4, настаивали 1 час в холодильнике для лучшей экстракции фермента,

периодически помешивая. Затем содержимое количественно центрифугировали при 5–8 об/мин – 15 мин. Полученную надосадочную жидкость использовали в качестве ферментного препарата для определения активности фермента.

В 4 сухие пробирки для каждого варианта приливали по 3 мл 2 % раствора крахмала, 3 мл фосфатного буфера pH=5,5, 1 мл 3 % NaCl. В контрольную пробирку добавляли 2 мл 1н HCl для инактивации фермента. Затем во все пробирки добавляли по 0,5–1 (3мл) ферментного препарата по каждому варианту, хорошо перемешивали и ставили в термостат при $t=37^{\circ}\text{C}$ на 1 час. В это время амилаза гидролизует крахмал. По окончании экспозиции в опытные пробирки также добавляли 2 мл 1н HCl для остановки работы фермента.

Затем в мерные колбы на 25 или 50 мл наливали по 20 или 40 мл дистиллированной воды по числу пробирок и вариантов, по 0,5–1 мл 1н HCl, из каждой пробирки отбирали 0,25 или 0,5 мл гидролизата крахмала, 5 м капель 0,3 % раствора йода в 3 % растворе KI. Колбы доводили до метки водой, перемешивали и калориметрировали на ФЭКе при инфракрасном светофильтре в кюветах на 10 мл. Контролем служит дистиллированная вода.

Вычисление результатов: активность амилаз (в 1 мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 мл ферментативного раствора) рассчитывали по формуле:

$$AA = \frac{E_k - E_o}{E_k} \times \frac{2 \times 2}{60}$$

где AA – активность амилазы в мг гидролизованного крахмала за 1 час на 1 мг ферментативного препарата, E-экстинкция – светопоглощение контрольного и опытного растворов, 2,2 – пересчетные коэффициента на 1 час и 1 мл ферментного раствора, 60 – пересчетный коэффициент на 1 мг крахмала (3 мг 2 % раствора).

Определение активности каталазы основан на измерении времени, за которое опытный раствор достигает определенную оптическую плотность [10]. Навеску растительного материала (50 мг) растирали в ступке с водой, растительную вытяжку настаивали в течение 10 минут, а затем центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об./мин. Надосадочную жидкость использовали для определения активности каталазы.

Определение проводили при длине волны $\lambda=240$ нм.

Активность каталазы рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{DE}{tc},$$

где D – оптическая плотность (0,1–0,2); E – разведение (перерасчет на 1 г сырой массы); t – время, c; d – толщина слоя жидкости, толщина кюветы (1 см).

Активность каталазы выражается в единицах оптической плотности на грамм сырой массы в секунду ($\Delta D_{670\text{г-1}\cdot\text{с-1}}$).

Определение свободного пролина. Известно, что пролин – гетероциклическая аминокислота, содержание которой увеличивается многократно при стрессовых воздействиях. Накопление пролина помогает растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям, в том числе и к засолению, защищая от инактивации белки, ДНК, ряд ферментов и другие важнейшие клеточные компоненты [11].

В чашках Петри на фильтровальной бумаге в воде выращивали 7–10-дневные проростки ячменя. Затем воду сливали и заливали в чашки 18 %-й раствор сахарозы. Через 48 или 72 ч определяли содержание пролина в срезанных листьях после осмотического стресса, предварительно определив его исходное содержание. Параллельно берут две-три пробы листьев (100 мг), высушивали их при 105 °С и находили сухую массу.

Затем берут 2 мл фильтрата и проводят дальнейшее определение как при построении калибровочной кривой. Концентрацию пролина определяют по калибровочному графику. Результаты расчета выражают в миллиграмм-процентах на сухое вещество, предварительно определив, сколько сухого вещества содержится в 1 г сырых листьев в контроле и при недостатке воды. Интенсивность окраски измеряют на ФЭКе при 520 нм против толуола [9].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической. Для определения достоверности различий между сравниваемыми пробами рассчитывали t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ на активность амилазы при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

Изучение активности амилазы проводили на 6 сутки прорастания семян, когда отмечается максимум активности суммарных амилаз зерновой массы в процессе прорастания семян ячменя. Результаты исследования показали, что в некоторых вариантах происходит увеличение активности α -амилазы по сравнению с контролем (рис. 1).

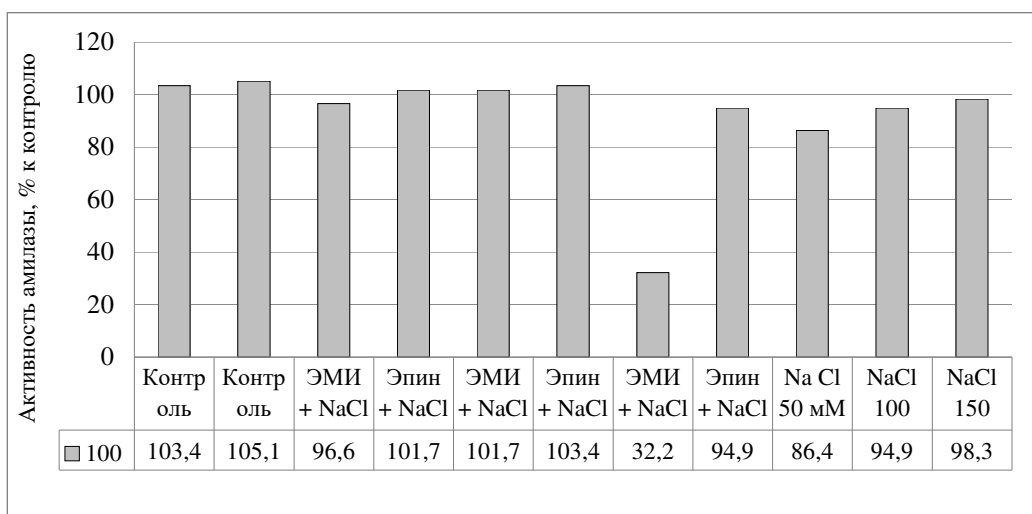


Рис.1. Влияние низкоинтенсивного ЭМИ и Эпин-Экстра на активность амилаз *Hordeum vulgare* L. под действием хлоридного засоления.

Это свидетельствует о более интенсивном гидролизе крахмала до сахаров. что Эпин-Экстра повышает активность амилазы при прорастании семян, а ЭМИ наоборот, снижает. Так, под действием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ происходит небольшое, но достоверное снижение общей активности амилаз ячменя.

Данный физический фактор влияет и на соотношение активности α -амилаз. Во многом эти данные характеризуют интенсивность процессов «физиологического набухания», связанную с накоплением осмотически активных веществ в семенах.

Также изменения активности амилаз может быть связано с воздействием ферментов – протеаз, так как при прорастании семян латентная форма 3-амилаз активируется именно под действием этих ферментов.

Снижение общей активности амилаз при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ возможно связано с уменьшением потребности проростка в глюкозе и энергии вследствие отмеченного нами торможения ростовых процессов или с повреждением ферментных систем на первой стадии стресса.

Таким образом, изменение активности амилазических ферментов тоже может расцениваться как проявление стрессовой реакции, причем экспозиция 30 мин – переход к фазе адаптации.

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на активность каталазы при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

Результаты исследования показали, что обработка семян ячменя низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ оказала существенное влияние на активность фермента каталазы (табл. 1). Показано, что с увеличением концентрации NaCl меняется активность каталазы. Максимальное значение активности отмечено при концентрации NaCl 50 мМ. Последующее снижение активности фермента можно объяснить торможением синтетических процессов в проростке, что сказывается также и на ростовых процессах. Активность пероксидазы также меняется в зависимости от концентрации NaCl.

Во всех вариантах опыта на протяжении 3 суток активность каталазы снижалась. Исключение составил вариант опыта NaCl 50 мМ+ЭМИ, в котором наблюдается повышение активности каталазы на 14,51.

В контрольном варианте в течении 3 суток, активность каталазы в растениях подвергшихся электромагнитному излучению снизилась на 13,05 мг/л, а в растениях не подвергшихся облучению на 20,71. Следовательно, можно судить о том, что ЭМИ замедляет процесс снижения активности каталазы.

Первичная активизация метаболических процессов в прорастающих семенах обусловлена интенсификацией дыхания, сопряженного с окислительно-восстановительными реакциями растительного организма. Согласно современным представлениям, каталаза играет ведущую роль, регулируя окислительный режим в организме, и её активность может рассматриваться в качестве меры интенсивности и продуктивности общего метаболизма [13]. Также каталаза защищает живые организмы от повреждения перекисью водорода, образовавшейся в результате окислительно-восстановительных реакций [14].

Таблица 1.
Влияние гизкоинтенсивного ЭМИ на активность каталазы при прорастании семян

Варианты опыта	Активность каталазы в сутки ($\bar{x} \pm S_x$)		
	3 сутки	4 сутки	5 сутки
Контроль H ₂ O-дист	59,08±0,04	40,83 ±0,20	38,37±0,32
NaCl 50 мМ	67,29±0,06**	39,48 ±0,21**	34,19±0,41**
NaCl 100 мМ	40,92±0,02*	45,64±0,16*	39,43±0,24*
NaCl 150 мМ	41,16 ±0,01*	36,46±0,18 *	31,26±0,31 *
NaCl 200 мМ	39,01±0,01*	38,88±0,14 *	36,21±0,24*
H ₂ O –дист + ЭМИ	49,6 ±0,06**	37,9±0,21**	36,55±0,24**
NaCl 50 мМ +ЭМИ	50,27±0,04*	52,44±0,16*	64,78±0,18**
Na Cl 100 мМ+ЭМИ	41,87±0,08**	39,43±0,18 **	35,21±0,36*
NaCl 150 мМ+ЭМИ	39,62±0,01**	35,71±0,16 *	31,94±0,12*
NaCl 200 мМ+ЭМИ	35,44±0,01*	35,25±0,12 **	35,06±0,24*

Примечание к таблице: звездочками отмечены достоверные различия по сравнению с контролем при *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001; н/д – разница не достоверна.

Таким образом, анализируя полученные данные по влиянию исследуемого ЭМИ на активность каталазы в прорастающих семенах ячменя сорта Огоньковский, можно сделать вывод о том, что максимальной концентрацией NaCl, стимулирующей повышение активности изучаемого фермента является 50 мМ. Максимальный эффект установлен нами при использовании NaCl в данной концентрации на протяжении всего периода исследований.

Установленная в результате проведенных исследований динамика активности каталазы, вероятно, связана с повышенным расходом энергии на интенсификацию физиолого-биохимических процессов в растении. Эта энергия поступает преимущественно при окислении запасных питательных веществ, сопровождающихся образованием большого количества перекисных соединений, утилизируемых каталазой.

Высокие концентрации NaCl при ЭМИ не изменили активность каталазы, в течении 3 суток показатель существенно не изменился.

В результате наших исследований установлено, что превентивное воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на семена ячменя вызвало существенное изменение

активности каталазы. Активность каталазы меняется в зависимости от содержания NaCl. Воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ снижает процесс снижения активности каталазы.

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на содержание свободного пролина при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

В результате проведенных экспериментов было показано, что под влиянием осмотического стресса в листьях проростков ячменя пролин накапливается в значительных количествах при воздействии ЭМИ в сравнении с контролем, которые выращивались при нормальных условиях водообеспечения.

Было выявлено, что содержание пролина больше в листьях при неблагоприятных условиях при обработке низкоинтенсивным ЭМИ, чем при нормальных условиях.

Данные свидетельствуют о том, что при обработке низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ уже у 7-мидневных проростков в условиях осмотического стресса содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте. Так, в листьях растений ячменя контрольного варианта содержание пролина составляло около лишь 0,4 мкмоль/г сухой массы. ЭМИ увеличивало его содержание до 0,7 мкмоль/г сухой массы.

Таблица 2.

Показатели содержания свободного пролина в проростках *Hordeum vulgare* L. при превентивном воздействии низкоинтенсивного ЭМИ

Вариант	Содержание пролина в сухой массе
1. H ₂ O-дист	0,39±0,02
2. NaCl 50 мм	1,1±0,03
3. NaCl 100 мм	1,9±0,02
4. NaCl 150 мм	2,3±0,05
5. H ₂ O-дист+КВЧ	0,63±0,04
6. NaCl 50 мм+КВЧ	0,49±0,03
7. NaCl 100 мм+КВЧ	1,3±0,05
8. NaCl 150 мм+КВЧ	1,8±0,02

Известно, что отрицательное влияние засоления на фотосинтетический аппарат растений может быть частично снято накоплением эндогенного пролина [15]. Весьма вероятно, что растения ячменя предотвращают массовое разрушение хлорофилла а и b при засолении за счет интенсивной аккумуляции пролина. Несмотря на то, что совместное действие NaCl и низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ способствовало снижению содержания пролина по сравнению с воздействием одной соли, его уровень, тем не менее, превышал контрольный, что, вероятно, являлось достаточным для стабилизации метаболизма фотосинтетических пигментов.

Помимо участия в осморегуляции и проявлении ряда других биологических эффектов пролин проявляет антиоксидантные свойства, что крайне важно,

поскольку засоление, как правило, вызывает развитие окислительного стресса [16]. Это делает важным в дальнейшем оценить уровень NaCl-индуцированного окислительного стресса в растениях ячменя и определить содержание низкомолекулярных органических антиоксидантов иной природы.

Исследования показали, что воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вызывает положительные изменения метаболических процессов, вызывает стимуляцию физиологических процессов в прорастающих семенах и развивающихся из них растениях.

На основании проведенных исследований можно предложить некоторые рекомендации по использованию электромагнитного излучения в предпосевной обработке семян ячменя. Обработка ЭМИ будет способствовать повышению их посевных качеств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ отмечается снижение общей активности амилаз (в среднем на 12 %, $p \leq 0,05$), что является проявлением стрессовой реакции, в частности, перехода к фазе адаптации
2. При воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ отмечается существенное уменьшение активности каталазы, которая меняется в зависимости от содержания NaCl. Максимальной концентрацией NaCl, стимулирующей повышение активности изучаемого фермента является 50 мМ. Высокие концентрации NaCl при воздействии низкоинтенсивного ЭМИ не изменяют активность каталазы.
3. При обработке низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ уже у 7-мидневных проростков в условиях осмотического стресса содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте.

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

Список литературы

1. Хитров Н. Б. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения / Н. Б. Хитров, Л. В. Роговнева, В. С. Паштецкий // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2020. – Вып. 102. – С. 70–102. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-10270-102
2. Ляшевский В. И. Мелиоративная характеристика орошаемых земель Крыма / В. И. Ляшевский, М. В. Вердыш // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 3(31). – С. 86–99. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-86-99
3. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхоз академии. – 2013. – 2G13. – 756 с.
4. Джайхун А. С. Изучение и оценка по признакам морозостойкости и скороспелости новых сортов и линий озимой мягкой пшеницы, селекции и применения биопрепаратов / А. С. Джайхун,

- Г. А. Мырзабаева, А. Б. Идрисова // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 430–435. – URL <https://moluch.ru/archive/130/36159/>
5. Таланов П. И. Влияние агрохимикатов и электромагнитных полей КВЧ диапазонов при предпосевной обработке семян и фонов питания на формирование урожайности озимой ржи / П. И. Таланов, Ф. Ш. Фасхутдинов, Г. С. Миннуллин, И. П. Таланов // Агрохимический вестник. – 2016 – № 6. – С. 56–85.
6. Chmeleva S. I. Adaptogenic Effect of Low-Intensity Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation on Glycine max L. under Osmotic Stress / S. I. Chmeleva, K. N. Tumanyants, A. I. Sidyakin // XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021) 25th–28th May 2021, Simferopol, Crimea. – 853 – 012018.
7. Chmeleva S. I. Influence of low-Intensity Electromagnetic Radiation of the Millimeter Range on the Antioxidant System of Juvenile Glycine max L. Plants under Osmotic Stress / S. I. Chmeleva, K. N. Tumanyants, N. S. Yarmolyuk // XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021) 25th–28th May 2021, Simferopol, Crimea. – Sci. 853 – 012017.
8. Беленкевич О. А. Продолжительность периодов онтогенеза и вегетации растений ячменя в зависимости от сорта и метеорологических условий сезона / О. А. Беленкевич // С/Х биология. – 2003. – №5. – С. 37–43.
9. Третьяков Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев и др. – М.: КолосС, 2003. – С. 172–174.
10. Алехина Н. Д. Физиология растений / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др.; под ред. И. П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – С. 450.
11. Szabados L. Proline: a multifunctional amino acid / L. Szabados, A. Savaure // Trends Plant Sci. – 2010. – Vol. 15, № 2. – P. 89–97.
12. Akashi K. Citrulline, a novel compatible solute in droughttolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger / Akashi K., Miyake C., Yokota A. // FEBS Lett. – 2001. – Vol. 508, № 3. – P. 438–442.
13. Кошеляев В. В. Влияние элементов технологии на урожай и посевные качества семян озимой пшеницы / В. В. Кошеляев, Л. В. Карпова // Нива Поволжья. – 2014. – № 4(33). – С. 6–65.
14. Чеснокова Н. П. Механизмы структурной и функциональной дезорганизации биосистем под влиянием свободных радикалов / Н. П. Чеснокова, Е. В. Понукалина, М. Н. Бизенкова // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 4. – С. 110–121.
15. Кузнецов В. В. Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В. В. Кузнецов, Н. И. Шемякова // Физиология растений. – 1999. – Т 46. – С. 321–336.
16. Джавадиан Н. Вызванные холодом изменения активности ферментов и содержания пролина, углеводов и хлорофиллов у пшеницы / Н. Джавадиан, Г. Каримзаде, С. Мафузи, Ф. Ганати // Физиология растений. – 2010. – Т 57, № 4. – С. 580–588.

INFLUENCE OF LOW-INTENSE ELECTROMAGNETIC RADIATION OF EXTREMELY HIGH FREQUENCY ON BIOCHEMICAL INDICATORS OF SEEDS OF *HORDEUM VULGARE* L. SEEDS UNDER OSMOTIC STRESS

Chmeleva S. I., Dzheldubaeva E. R., Tumanyants K. N., Sidyakin A. I.

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

A promising and environmentally safe technique for pre-sowing treatment of crop seeds is the preventive treatment of seeds of cultivated plants with low-intensity electromagnetic radiation (EMR), in particular, extremely high frequency (EHF). The purpose of this work was to identify the effect of low-intensity EMR EHF (wavelength –

7.1 mm; radiation frequency – 42.3 GHz; radiation power flux density – 0.1 mW/cm², exposure 30 minutes) on the biochemical parameters of seedlings of the seed *Hordeum vulgare* L osmotic stress caused by chloride salinity.

The experimental part of the work was carried out on the basis of the Department of Botany and Plant Physiology and Biotechnology of the Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, as well as the Center for Collective Use “Experimental Physiology and Biophysics”.

When exposed to low-intensity EMR EHF, there is a decrease in the total activity of amylases (on average by 12 %, $p \leq 0.05$), which is a manifestation of a stress reaction, in particular, a transition to the adaptation phase. The decrease in the overall activity of amylases under the action of low-intensity EMR EHF is possibly associated with a decrease in the seedling's need for glucose and energy due to the inhibition of growth processes noted by us or with damage to enzyme systems at the first stage of stress.

When exposed to low-intensity EMR EHF, a significant decrease in catalase activity is noted, which varies depending on the content of NaCl. The maximum concentration of NaCl that stimulates an increase in the activity of the studied enzyme is 50 mM. High concentrations of NaCl under the influence of low-intensity EMR do not change the activity of catalase. The primary activation of metabolic processes in germinating seeds is due to the intensification of respiration associated with redox reactions of the plant organism. The dynamics of catalase activity established as a result of the conducted studies is probably associated with increased energy consumption for the intensification of physiological and biochemical processes in the plant. This energy comes mainly from the oxidation of reserve nutrients, accompanied by the formation of a large amount of peroxide compounds utilized by catalase.

When treated with low-intensity EMR EHF, already in 7-day-old seedlings under conditions of osmotic stress, the content of proline in the leaves exceeds the values in the control variant.

Studies have shown that exposure to low-intensity EMR EHF causes positive changes in metabolic processes, causes stimulation of physiological processes in germinating seeds and plants developing from them.

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency, *Hordeum vulgare* L., amylase, catalase, proline.

References

1. Khitrov N. B., Rogovnev L. V., Pashtetsky V. S. Change of salinity of soils and groundwater of rice systems of Prisivash lowland after the cessation of irrigation, *Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchayev*, **102**, 70 (2020).
2. Lyashevsky V. I., Verdysh M. V. Meliorative characteristic of irrigated lands of Crimea, *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*, **3(31)**, 86 (2018).
3. Scientific bases of prevention of soil (land) degradation of agricultural lands of Russia and formation of systems of reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture: *T. 1. Theoretical and methodological bases of prevention of soil degradation (land) agricultural land. Collective monograph. M.: Sov. in-t them. V. V. Dokuchaev Rosselkhoz Academy*, **2G13**, 756 (2013).
4. Jayhun A. S., Myrzabayev G. A., Idrissov A. B. Study and evaluation of new varieties and lines of winter soft wheat, selection and use of biopreparations, *Young scientist*, **26**, 430 (2016).

5. Talanov P. I., Fashutdinov F. S., Minnoullin G. S., Talanov I. P. Influence of agrochemicals and electromagnetic fields of EHF ranges during pre-seeded treatment of seeds and nutrition backgrounds on formation of grain yield of rye, *Agro* **6**, 56 (2016).
6. Chmeleva S. I., Tumanyants K. N., Sidyakin A. I. Adaptogenic Effect of Low-Intensity Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation on Glycine max L. under Osmotic Stress, XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021), 853, 012018 (Simferopol, Crimea, 25th-28th May 2021).
7. Chmeleva S. I., Tumanyants K. N., Yarmolyuk N. S. Influence of low-Intensity Electromagnetic Radiation of the Millimeter Range on the Antioxidant System of Juvenile Glycine max L. Plants under Osmotic Stress, XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021), 853, 012017. (25th-28th May 2021, Simferopol, Crimea).
8. Belenkevich O. A. Duration of periods of ontogeny and vegetation of barley plants depending on the variety and meteorological conditions of the season, *S/X biology*, **5**, 37 (2003).
9. Tretyakov N. N., Panichkin L. A., Kondratiev M. N., et. al. *Workshop on plant physiology*, 172 (M.: ColosS, 2003).
10. Alekhina N. D., Balnokin Yu. V., Gavrilenko V. F. et al. *Plant Physiology*, 450 (M.: Publishing Center «Academy», 2005).
11. Szabados L., Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid, *Trends Plant Sci.*, **15** (2), 89 (2010).
12. Akashi K., Miyake C., Yokota A. Citrulline, a novel compatible solute in droughttolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger, *FEBS Lett*, **508** (3), 438 (2001).
13. Mowing V. V., Karpova L. V. Influence of elements of technology on the yield and sowing qualities of winter wheat, *Niva of the Volga region*, **4(33)**, 6 (2014).
14. Chesnokova N. P., Ponukalin E. V., Bizenkov M. N. Mechanisms of structural and functional disorganization of biosystems under the influence of free radicals, *Fundamental research*, **4**, 110 (2007).
15. Kuznetsov V. V., Shevyakov N. I. Proline under stress: biological role, metabolism, regulation, *Physiology of plants*, **46**, 321 (1999).
16. Javadian N., Karimzade G., Mafusi S., Ganati F. Cold-induced changes in enzyme activity and proline, carbohydrate and chlorophyll content in wheat, *Physiology of plants*, **57** (4), 580 (2010).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 8 (74). 2022. № 1. С. 224–235.

УДК 628.16.081.32

СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

Работягов К. В.¹, Ратушная А. Д.¹, Бахтин А. С.²

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

²*Институт "Академия строительства и архитектуры" (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: kotofey2002@mail.ru*

Изучено поглощение из водного раствора красителя метиленового голубого активными углями, полученными из различного растительного сырья, в том числе из кокосового волокна, из каменного и бурого углей. Проведено сравнение эффективности сорбентов между собой и с материалами, полученными при переработке изношенных автомобильных покрышек. Рассчитаны зависимости сорбционной активности от концентрации красителя и времени сорбции.

Ключевые слова: активный уголь, сорбент.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение новых стандартов оценки качества воды для бытового потребления привело к изменению подходов в её очистке [1]. Одним из важных пунктов, стала очистка от органических соединений любого типа, независимо от способа их попадания в воду. На различных стадиях производственного цикла для этой цели применяются сорбенты, в роли которых выступают, как природные минеральные, так и искусственно получаемые вещества. Наилучшими показателями обладают активные угли, что делает задачу их производства и стандартизации достаточно актуальной.

Чаще всего в качестве сырья используется древесина лиственных пород деревьев. Кроме активного угля получают сопутствующие продукты, что несколько повышает рентабельность производства. Однако у процесса переработки древесины есть ряд недостатков, что побуждает к поиску новых источников сырья. В частности, используются растительные отходы: стружка, опилки, шелуха, имеющие низкую себестоимость. Внимание привлекают различные ископаемые: угли, торф, позволяющие получить угли высокого качества. Особый интерес вызывает различное вторичное сырьё, обладающее одновременно низкой себестоимостью и высоким качеством получаемых сорбентов [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы угли активные: КАУ-11 (кокосовый); МАУ-11 (бурый уголь, лигнит); МАУ-11 (каменный уголь); ОУ-В (древесный берёзовый); СПДК-2 (древесный); Экстрасорб-101 (древесный берёзовый). Краситель метиленовый голубой.

Гранулограммы образцов выполнены на анализаторе Partica LA-960, HORIBA методом лазерной дифракции в водной суспензии с ультразвуковым перемешиванием.

Измерение оптической плотности водных растворов проводилось на фотометре «ЭКСПЕРТ-003» при длине волны $\lambda=525$ нм согласно ГОСТ 4453-74 [3]. Сорбционные свойства образцов определяли фотоколориметрическим методом. Для этого к модельному раствору с концентрациями метиленового голубого 6, 9, 12 мг/л добавляли исследуемые материалы (0,1 г на 25 мл) и перемешивали их в течение 3, 6, 9 и 12 мин. Значения остаточных концентраций красителя были рассчитаны на основе построенного калибровочного графика.

На основании экспериментов были вычислены адсорбционная активность (AA) и эффект очистки ($ЭО$) по формулам (1) и (2):

$$AA = \frac{(C_1 - C_2) \cdot W}{m} \quad (1)$$

$$ЭО = \frac{(A_1 - A_2) \cdot 100}{A_1} \quad (2)$$

где C_1 и C_2 – исходная и конечная концентрации красителя, мг/л;

W – объём раствора, dm^3 ;

m – масса сорбента, г;

A_1 и A_2 – исходная и конечная оптические плотности растворов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа проб при различных концентрациях и временах экспозиции (t) приведены в таблицах 1 и 2:

Таблица 1
Значения оптической плотности (A) растворов при $\lambda=525$ нм

t, мин	Марка угля								
	КАУ-11			МАУ-11			МАУ-12		
	Начальная концентрация раствора, мг/л								
	6	9	12	6	9	12	6	9	12
3	0,029	0,066	0,085	0,022	0,018	0,022	0,020	0,014	0,017
6	0,036	0,068	0,088	0,023	0,020	0,024	0,023	0,018	0,018
9	0,040	0,069	0,089	0,025	0,025	0,026	0,025	0,014	0,020
12	0,050	0,066	0,091	0,027	0,027	0,027	0,027	0,019	0,021

Таблица 2

Значения оптической плотности (А) растворов при $\lambda=525$ нм

t, мин	Марка угля								
	ОУ-В			Экстрасорб-1			СПДК-2		
	Начальная концентрация раствора, мг/л								
	6	9	12	6	9	12	6	9	12
3	0,035	0,022	0,034	0,058	0,045	0,045	0,010	0,022	0,037
6	0,036	0,024	0,037	0,052	0,041	0,046	0,025	0,030	0,039
9	0,037	0,028	0,038	0,043	0,031	0,047	0,027	0,034	0,041
12	0,038	0,030	0,040	0,055	0,026	0,031	0,030	0,038	0,046

Результаты гранулометрического анализа углей приведены в таблице 3:

Таблица 3

Содержание гранул различных размеров (d) в образцах углей

d, мкм	Доля гранул, % объёмн.					
	КАУ-11	МАУ-11	МАУ-12	ОУ-В	Экстрасорб-1	СПДК-2
3,0	0,16	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00
3,4	0,26	0,00	0,28	0,00	0,00	0,13
3,9	0,41	0,13	0,46	0,00	0,21	0,24
4,5	0,65	0,25	0,72	0,00	0,44	0,43
5,1	1,00	0,46	1,10	0,00	0,85	0,75
5,9	1,47	0,78	1,61	0,10	1,53	1,24
6,7	2,07	1,23	2,21	0,18	2,54	1,96
7,7	2,76	1,82	2,85	0,30	3,83	2,89
8,8	3,45	2,47	3,45	0,50	5,22	3,98
10,1	4,10	3,14	3,94	0,78	6,54	5,17
11,6	4,67	3,81	4,29	1,20	7,71	6,42
13,2	4,93	4,21	4,32	1,75	8,06	7,31
15,1	4,85	4,28	4,07	2,40	7,53	7,66
17,4	4,55	4,08	3,68	3,06	6,40	7,50
19,9	4,18	3,76	3,30	3,60	5,12	7,00
22,8	3,90	3,45	3,05	3,91	4,01	6,41
26,1	3,80	3,23	3,00	3,96	3,18	5,87
29,9	3,91	3,14	3,16	3,82	2,63	5,40
34,3	4,23	3,18	3,51	3,58	2,28	4,97
39,2	4,78	3,37	4,08	3,41	2,12	4,56
44,9	5,48	3,74	4,82	3,42	2,15	4,16
51,5	6,04	4,18	5,55	3,52	2,25	3,68
59,0	6,21	4,60	6,06	3,70	2,39	3,13

Продолжение таблицы 3

d, мкм	КАУ-11	МАУ-11	МАУ-12	ОУ-В	Экстрасорб-1	СПДК-2
67,5	5,81	4,92	6,17	3,89	2,54	2,54
77,3	5,09	5,09	5,94	4,03	2,63	1,96
88,6	3,96	5,03	5,23	4,11	2,66	1,43
101	2,68	4,66	4,10	4,07	2,57	0,98
116	1,63	4,08	2,91	3,86	2,35	0,65
133	1,01	3,64	2,05	3,80	2,16	0,45
152	0,65	3,27	1,43	3,78	1,97	0,33
174	0,43	2,87	0,98	3,71	1,75	0,24
200	0,30	2,42	0,66	3,53	1,50	0,19
229	0,22	1,92	0,43	3,19	1,23	0,14
262	0,17	1,42	0,26	2,71	0,96	0,11
300	0,00	0,79	0,00	2,20	0,53	0,00
344	0,00	0,44	0,00	1,78	0,00	0,00
394	0,00	0,00	0,00	1,48	0,00	0,00
451	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00

По результатам измерений были построены графики зависимости адсорбционной активности (Рис. 1–6) и эффекта очистки (Рис. 7–12).

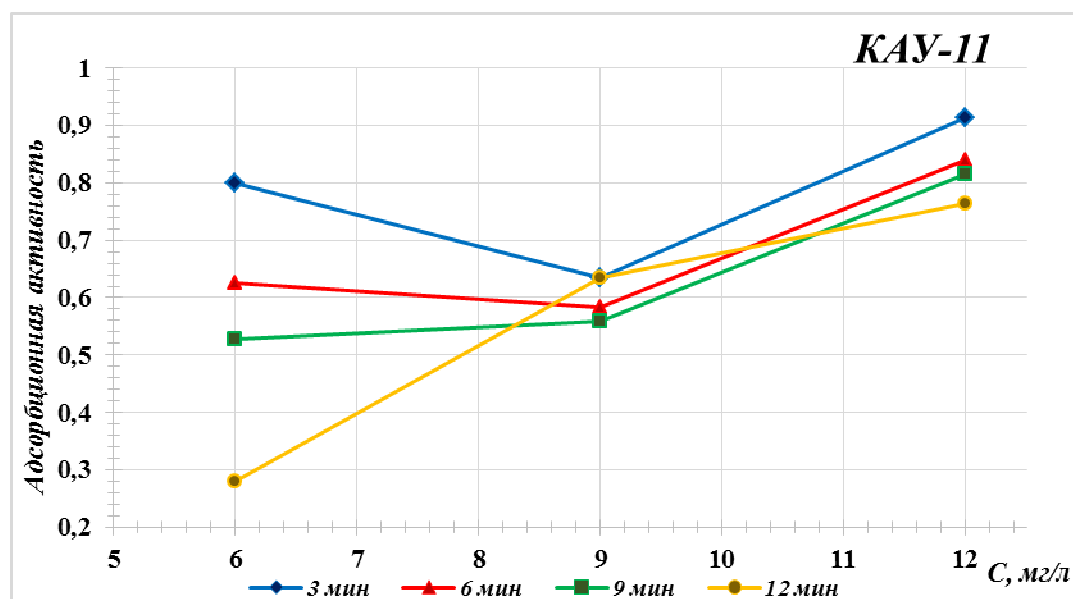


Рис. 1. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для КАУ-11.

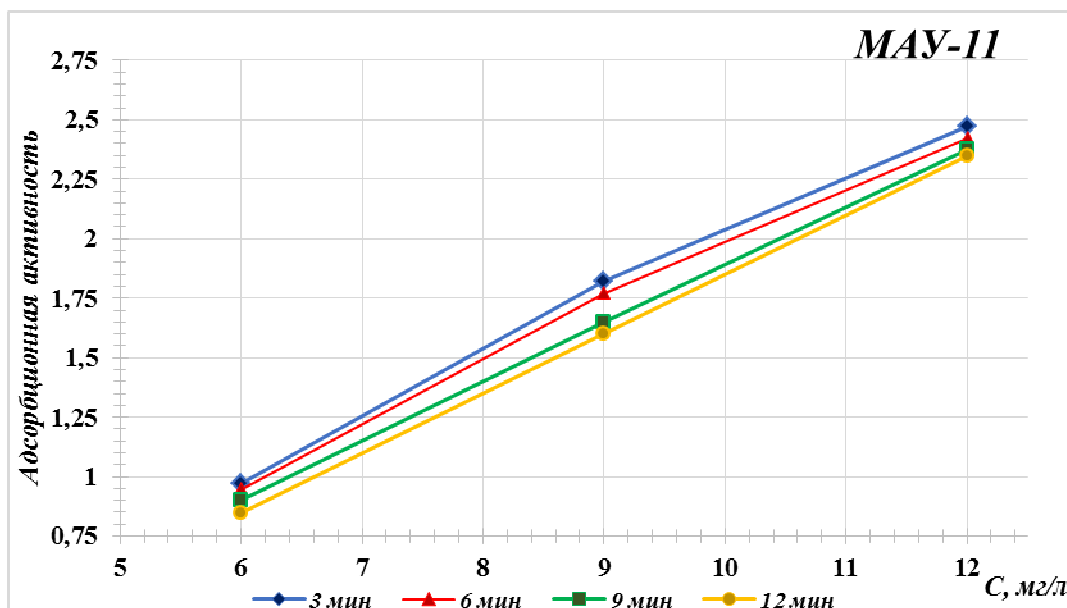


Рис. 2. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для МАУ-11.

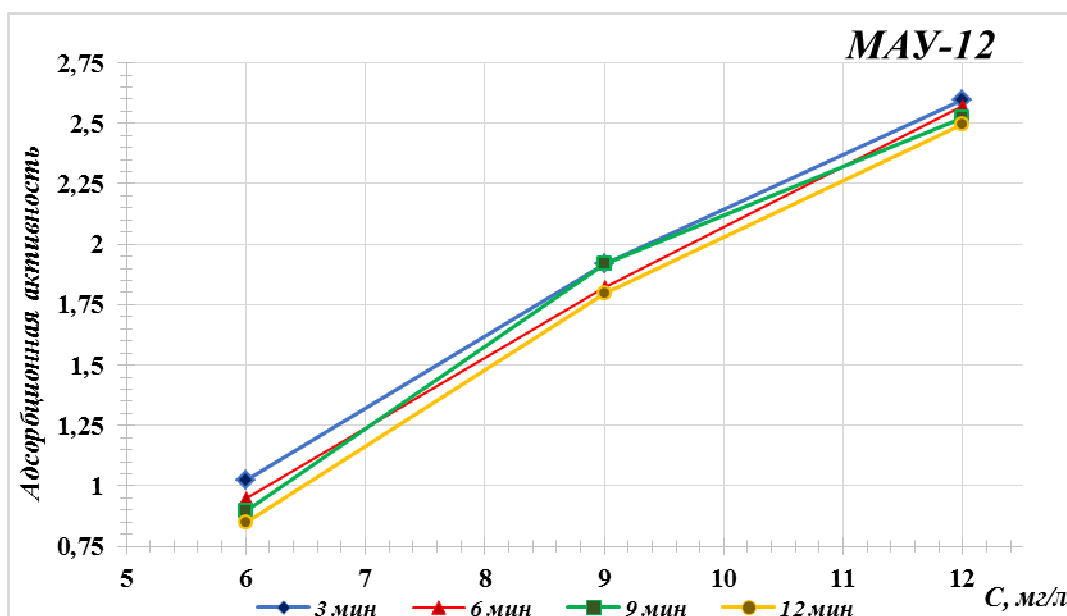


Рис. 3. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для МАУ-12.

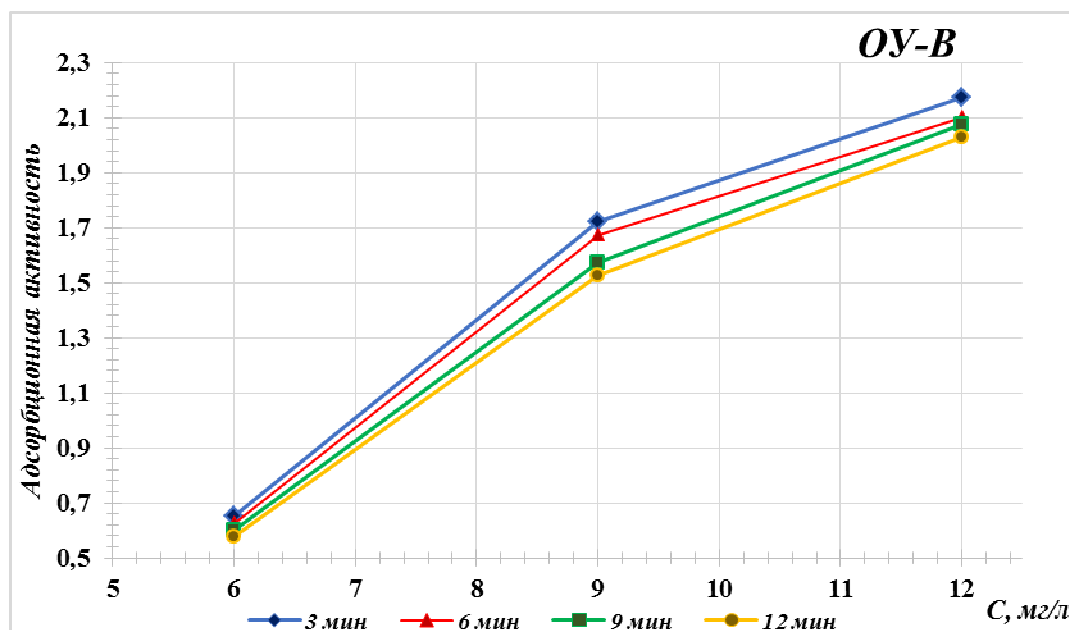


Рис. 4. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для ОУ-В.

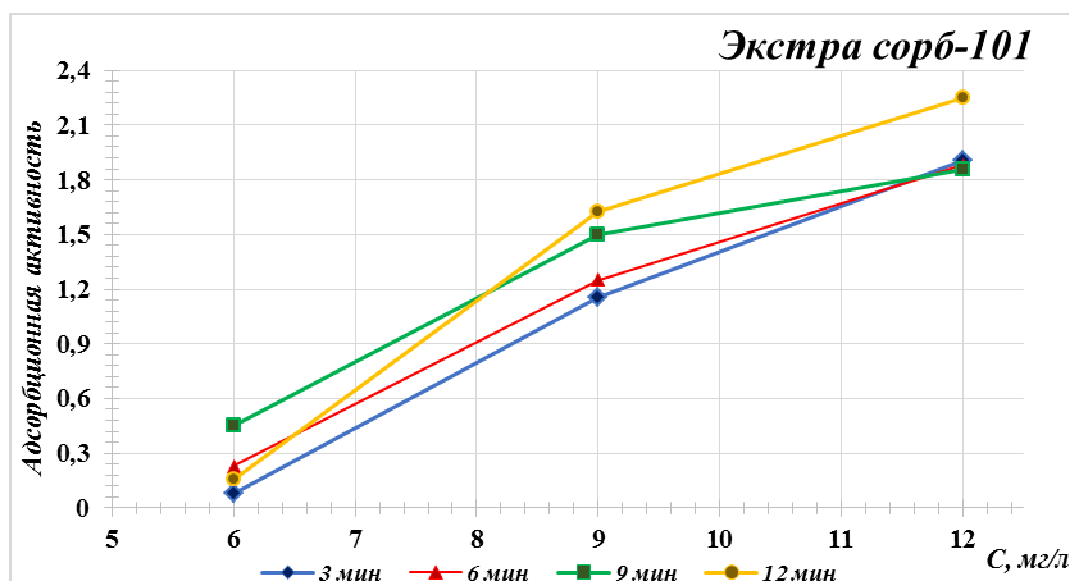


Рис. 5. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для Экстрасорб-101.

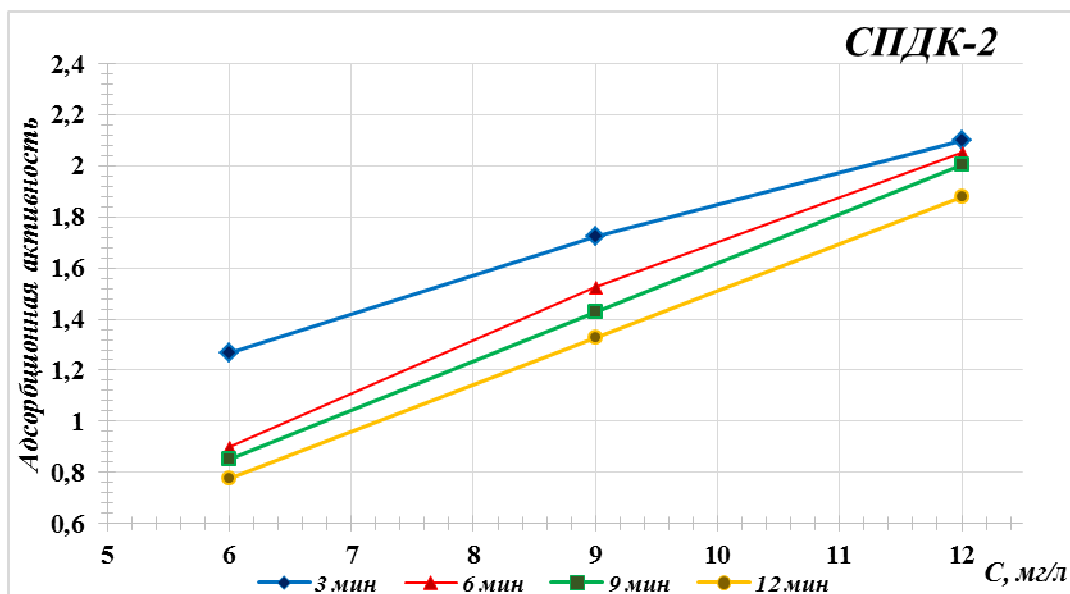


Рис. 6. График зависимости адсорбционной активности от концентрации при различных экспозициях для СПДК-2.

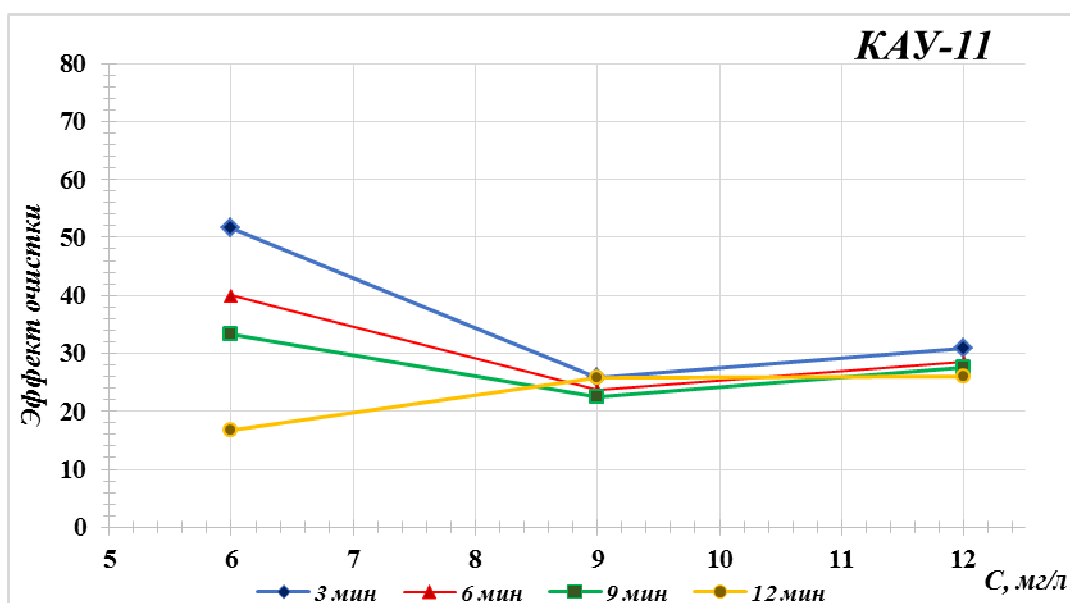


Рис. 7. Зависимость эффекта очистки КАУ-11 от концентрации модельного раствора и времени.

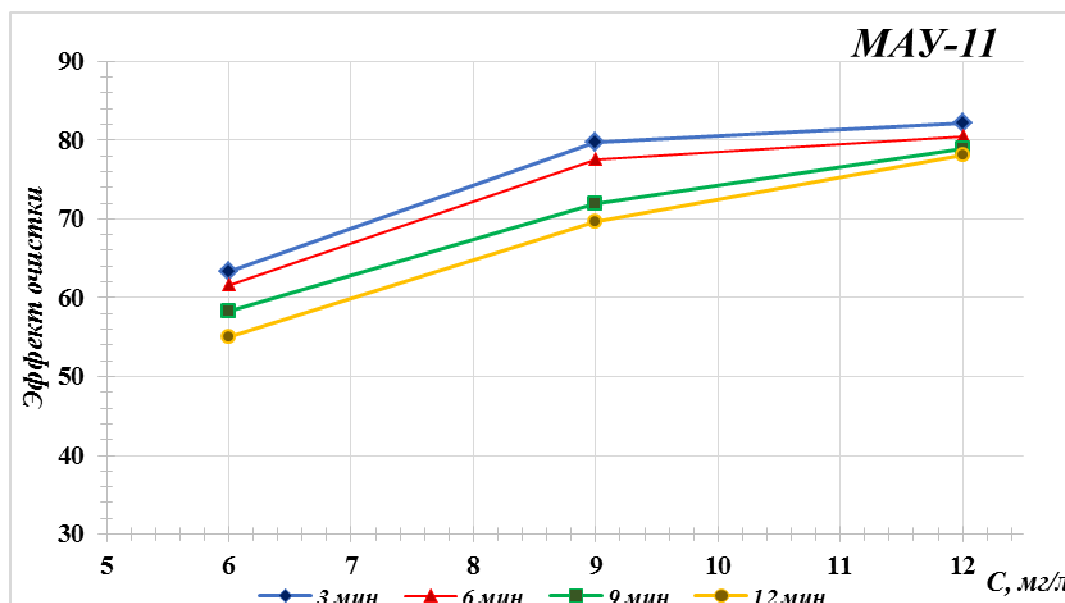


Рис. 8. Зависимость эффекта очистки МАУ-11 от концентрации модельного раствора и времени.

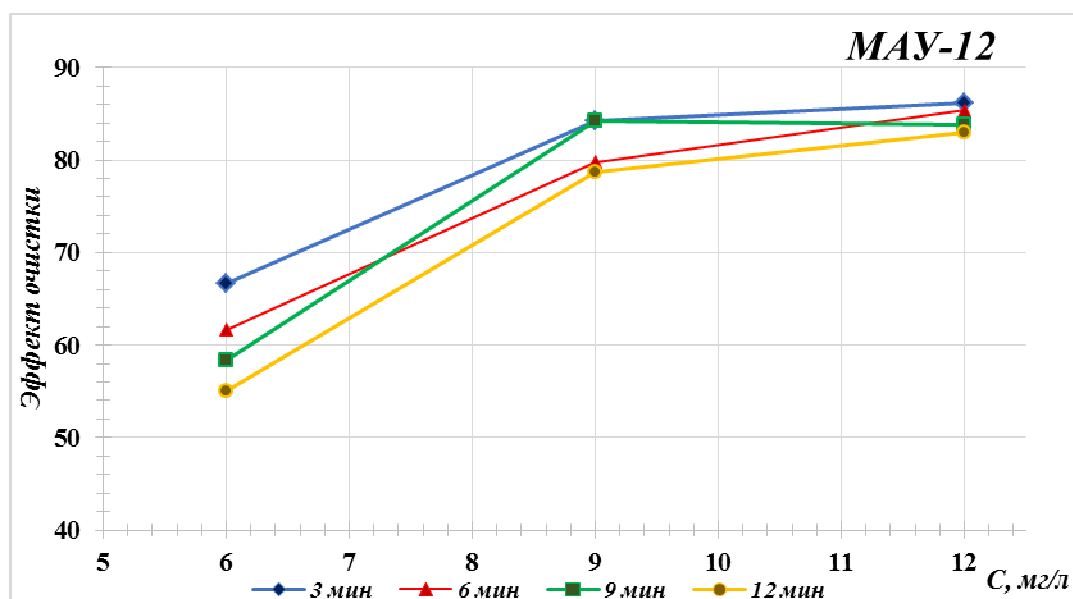


Рис. 9. Зависимость эффекта очистки МАУ-12 от концентрации модельного раствора и времени.

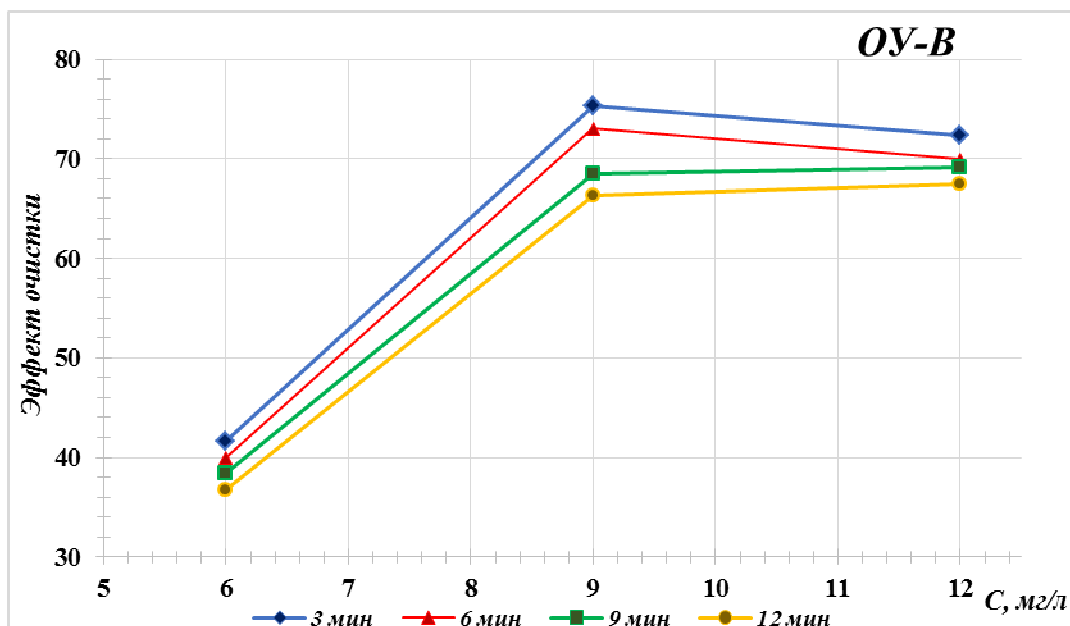


Рис. 10. Зависимость эффекта очистки ОУ-В от концентрации модельного раствора и времени.

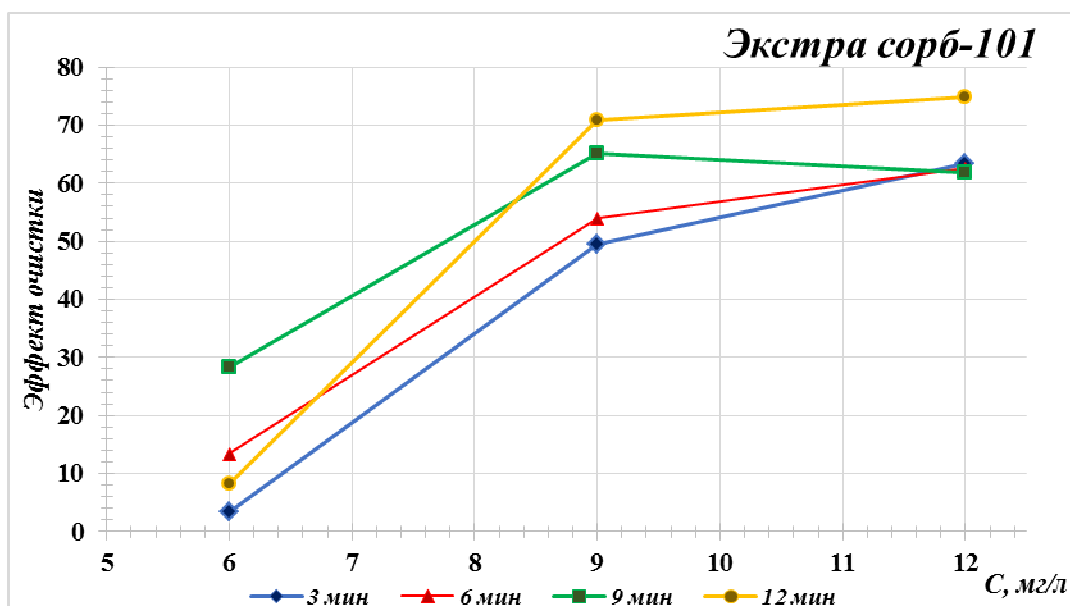


Рис. 11. Зависимость эффекта очистки Экстрасорб-101 от концентрации модельного раствора и времени.

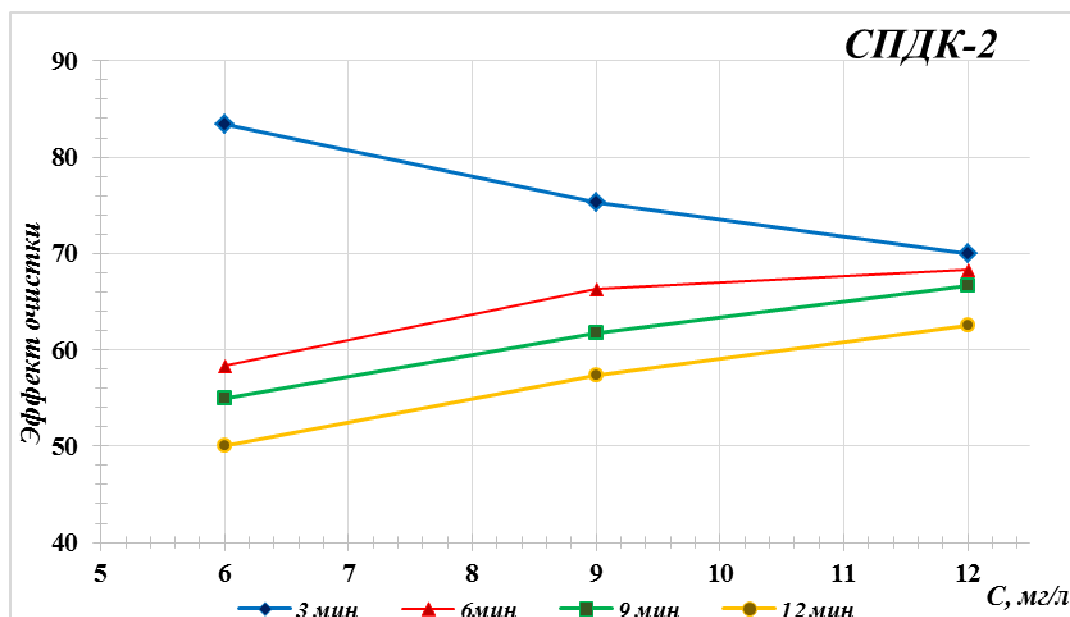


Рис. 12. Зависимость эффекта очистки СПДК-2 от концентрации модельного раствора и времени.

Образцы, полученные из ископаемого сырья (Рис. 2, 3.), показали ожидаемо высокие результаты. Это особенно заметно при низких концентрациях красителя – достигаются значения АА, близкие к единице. Кроме того, КАУ-11 (Рис. 1.), хоть и имеет неоднородность помола, близкую к МАУ-12 (Табл. 3.), в отличие него склонен к образованию устойчивого светопоглощающего коллоидного раствора, который разрушается только при увеличении в 1,5–2 раза концентрации красителя, либо при добавлении в раствор коагулянтов. Как следствие, характер зависимости АА от концентрации для КАУ-11 не имеет линейной зависимости, за исключением 12-ти минутной экспозиции, что может быть обусловлено достижением равновесия в системе.

Для углей ОУ-Б и Экстрасорб-101 характер зависимости АА от концентрации метиленового голубого так же отличается от линейной. Но в данном случае это объясняется меньшими значениями адсорбционной ёмкости препаратов из растительного сырья в сравнении с образцами из минерального [4].

Исключение составляет СПДК-2, сравнимый с МАУ-11 и МАУ-12, получаемыми из ископаемых углей. Такой результат может быть объяснен тем, что СПДК-2 при изготовлении проходит двойную термообработку, что приводит к увеличению удельной поверхности угля.

Наличие значительного количества глобул размером менее 15 мкм в образце КАУ-11 (Табл. 3.) позволяет достичь существенного увеличения ЭО, в сравнении с древесными углями (Рис. 10, 11.) при малых экспозициях и концентрациях метиленового голубого, что может быть объяснено существенной суммарной

величиной их поверхности. Однако это преимущество быстро исчезает (Рис. 7.) при увеличении концентрации красителя, как следствие меньшей сорбционной ёмкости кокосового угля, возможно из-за меньшей пористости.

Похожим образом при низких концентрациях сорбата и коротком времени экспозиции ведёт себя и образец СПДК-2 (Рис. 12.), так же имеющий значительную долю глобул малого размера. Но для него значение пористости имеет большее значение, что приводит к большему ЭО и меньшей зависимости величины ЭО от концентрации метиленового голубого.

В целом, высокосортные активные угли (Рис. 8, 9, 12.) ведут себя аналогично – зависимость ЭО от концентрации красителя, близка к линейной. Угли, полученные из древесины (Рис. 10, 11.) сравнимы с ними лишь при высоких концентрациях сорбата. Низкое значение ЭО для ОУ-В и Экстрасорб-101 при малых концентрациях красителя может быть обусловлено либо малой скоростью процесса сорбции, либо десорбцией не удалённых продуктов пиролиза древесины и смолистых веществ, поглощающих свет с $\lambda=525$ нм. Величины адсорбционной активности и эффекта очистки для активных углей их древесины сопоставимы с сорбентами, полученными при переработке различными методами изношенных резинотехнических изделий [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Активированные угли, полученные из ископаемого сырья, проявляют более высокую сорбционную активность в сравнении с материалами, полученными при переработке растительного сырья, что может быть связано с большими значениями величины удельной поверхности.
2. Дополнительная активация древесного угля обработкой водяным паром делает возможным его применение для удаления сорбатов органической природы.
3. При окончательном выборе сорбентов решающую роль могут сыграть доступность сырья и технологии производства, а не способность к поглощению, ввиду относительной близости значений.

Список литературы

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
2. Работягов К. В. Сравнение эффективности утилизационных пористых углеродных материалов и древесного активного угля / Работягов К. В., Сютра Ю. Н. // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Том 7 (73), № 4. – С. 265–276.
3. ГОСТ 4453-74 ГОСТ 4453-74. Уголь активированный, осветляющий, порошкообразный. Технические условия.
4. Углеродные адсорбенты (активные угли) // Новый справочник химика и технолога. Сырьё и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. I. – С.-Пб.: АНО НПО «Мир и Семья», АНО НПО «Профессионал», 2002. – С. 503–659.

COMPARISON OF SORPTION ACTIVITY OF DIFFERENT ACTIVE CARBONS

Rabotyagov K. V., Ratushnaya A. D., Bakhtin A. S.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: kotofey2002@mail.ru*

The absorption of methylene blue dye from an aqueous solution by active carbons was studied. Coals are obtained from wood, hard and brown coal, coconut fiber. Based on the results of dye absorption, the values of adsorption activity and the purification effect are calculated. The homogeneity of coal grinding and its relationship with the intensity of dye absorption have been studied. It was found that the presence of particles of particularly small size can lead to the formation of a stable colloidal solution. The suspension is destroyed by increasing the concentration of the dye or adding an anticoagulant. It is shown that the presence of a large number of small particles (with a diameter of less than 15 micrometers) increases the cleaning effect. At the same time, sorbents from charcoal are much inferior to sorbents from coal or brown coal. For high-grade coals, there is a linear dependence of the scrubbing effect on the concentration of methylene blue. This is due to the high speed of the adsorption process and the rapid onset of adsorption equilibrium. A particular advantage is observed at high values of sorbate concentrations. It is important that UIA-11 and UIA-12 coals do not contain resin products that can contaminate the aqueous solution.

Additional activation of SPDK-2 charcoal increases its porosity and adsorption activity. As a result, the cleaning effect increases. Also, the measured properties of the sorbent are less dependent on the concentration of the dye. According to the properties of SPDK-2, it is close to the sorbent obtained from fossil coals. The proximity of quantitative indicators can lead to the fact that the availability of raw materials for the production of active carbons and the profitability of their production will be more important for the consumer than their sorption properties.

For OU-B and Extrasorb-101 coals, the dependence of adsorption activity on the concentration of methylene blue differs from the linear one. This may be due to the lower value of the adsorption capacity of coals from vegetable raw materials. Sorbent KAU-11, obtained from coconut fiber has the lowest rates.

Keywords: porous carbon material, sorbent.

References

1. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. (*in Russ.*)
2. Rabotyagov K. V., Syutra Y. N. Comparison of the efficiency of recyclable porous carbon materials and charcoal. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry.* **7 (73)**, 4, 265 (2021). (*in Russ.*)
3. GOST 4453-74. Activated carbon, brightening, powdery. Technical conditions. (*in Russ.*)
4. Carbon adsorbents (active coals), New reference book of chemists and technologists. Raw materials and industrial products of organic and inorganic substances. B. 1-st. – S.-Pb.: ANO NPO "Peace and Family", ANO NPO "Professional", P. 503 (2002). (*in Russ.*)

УДК 546.185 + 547.787.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЯДА 2-ГИДРОКСИАЛКИЛ-1H-БЕНЗИМИДАЗОЛА

Цикалов В. В.¹, Цикалова В. Н.², Баевский М. Ю.², Соловьев В. Н.²

¹Институт Таврической академии ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

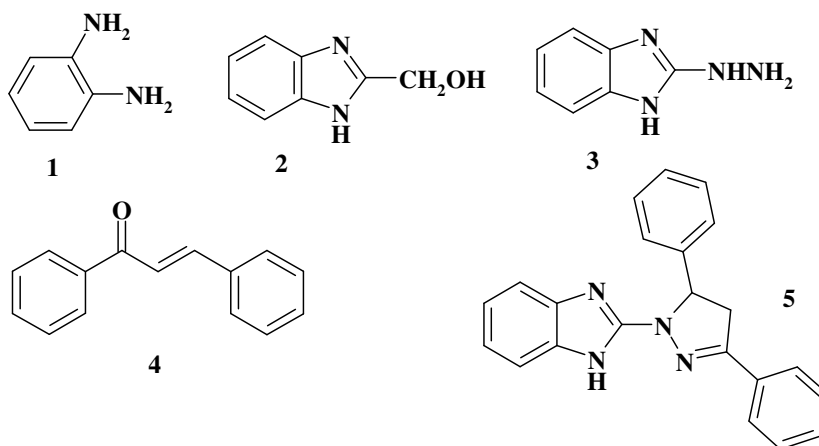
²Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: ts_v_v@mail.ru

Произведено сравнение двух методов получения 2-гидроксиметил-1H-бензимидазола, 2-(1-гидроксиэтил)-1H-бензимидазола и 2-(3-гидроксипропил)-1H-бензимидазола. Исходные вещества *o*-фенилендиамин, гликолевую, молочную кислоту, а также γ -бутиролактон в первом случае кипятили в 4н HCl, во втором случае сплавляли в микроволновом реакторе «Monowave 200» без растворителя в присутствии катализатора HVO₂ при температуре 150 °С. Структуры новых бензимидазолов подтверждены методом ¹H ЯМР-спектроскопии.

Ключевые слова: бензимидазол, гидроксикислоты, микроволновой синтез.

ВВЕДЕНИЕ

Производные бензимидазола представляют большой интерес, поскольку спектр их биологической активности не менее широк, чем у производных имидазола. Особый интерес в данном ряду представляют соединения, содержащие гидроксильные группы в боковых цепях, которые понижают липофильность веществ, придавая соединениям новые свойства и, возможно, новые виды биологической активности.



Широкое применение в синтезе подобных гидроксиалкилбензимидазолов нашел метод Филлипса, который заключается в конденсации *o*-фенилендиамин **1** и соответствующих гидроксикислот либо их нитрилов, либо лактонов при 4-х часовом кипячении в среде 4 н. HCl. По этой методике был получен 2-гидроксibenзимидазол **2** при взаимодействии *o*-фенилендиамин **1** с 1,5-кратным избытком гликолевой кислоты. Выход продукта реакции **2** составил 81 % [1].

В последнее время микроволновой синтез обрел широкую популярность, его используют для достижения быстрого и более эффективного взаимодействия. Сейчас микроволновое нагревание используется для повышения эффективности синтетических органических преобразований. Кроме того, микроволновой синтез также находит применение в других областях, таких как синтез наночастиц. Катализ в органическом синтезе является одним из основных методов, и использование микроволнового реактора недавно нашло применение в этой области органической химии [2, 3].

На примере конденсации эквимольных количеств 2-гидразинобензимидазола **3** и 1,3-дифенилпропен-3-она **4**, которая проводилась в этиловом спирте при кипячении реакционной смеси на магнитной мешалке и в условиях микроволнового синтеза в реакторе «Monowave 200» была показана эффективность использования микроволнового облучения для данной конденсации. Выходы продукта конденсации **5** составили соответственно 28 % на магнитной мешалке и 73 % в микроволновом реакторе. При этом продукт, полученный без использования микроволнового облучения, был загрязнен, и перекристаллизацией его очистить не удалось. В качестве катализаторов для подобных конденсаций используют различные минеральные и органические кислоты, в частности полифосфорную, пиколиновую, борную и метаборную кислоты [4]. На примере синтеза ряда производных 2-гидроксиалкилбензимидазола было показано, что борная кислота является более эффективным катализатором конденсации, чем 4 н. соляная и фосфорная кислоты [5]. Однако применение этих неорганических кислот в условиях микроволнового синтеза ранее не осуществлялось.

Целью данной работы является экспериментальное сравнение метода Филлипса и микроволнового синтеза на примере конденсации *o*-фенилендиамин с гликолевой и молочной кислотами, а также с γ -бутиролактоном при кипячении в 4 н. HCl и сплавлением в микроволновом реакторе «Monowave 200» без растворителя в присутствии катализатора метаборной кислоты при температуре 150 °С.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованные реактивы: 1, 2-фенилендиамин, гликолевая кислота, молочная кислота, γ -бутиролактон, метаборная кислота.

Спектр ^1H -ЯМР получен на приборе Varian VXR-400, (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь). Внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ -шкале.

Для проведения синтеза был использован микроволновой реактор «Monowave 200» (производитель Anton Paar, Австрия), частота магнетрона 2455 МГц.

Синтез 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола (6).

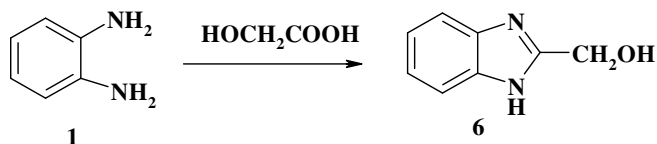


Рис. 1. Схема синтеза 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазола **6**.

Вариант а. К 54 г (0,5 моль) *o*-фенилендиамин добавляют 57 г (0,75 моль) гликолевой кислоты и 500 мл 4*n* соляной кислоты (рис. 1). Смесь кипятят с обратным холодильником в течение 3 часов. По окончании реакции реакцию массу охлаждают до 80–90 °С и добавляют 250 мл воды. В колбу добавляют 15 грамм мелкоизмельченного активированного угля. Доводят реакцию массу снова до кипения и кипятят в течение 20 минут, после чего фильтрацией на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до pH 8–9. Выпавший в осадок продукт реакции отфильтровывают на воронке Бюхнера. Продукт реакции сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **6**: 60 г (81 %). *T*_{пл} = 171–172 °С.

Вариант б. В виалу (емкостью 30 мл) загружают 5,4 г (0,05 моль) *o*-фенилендиамин добавляют 5,7 г (0,06 моль) гликолевой кислоты, 1,1 г (0,025 моль) метаборной кислоты. Помещают виалу в микроволновый реактор на два часа при температуре 150 °С. По окончании реакции в виалу добавляют 10 мл концентрированной соляной кислоты. Полученный раствор переносят в стакан. Нейтрализуют 10 %-ным раствором гидроксида натрия до pH 9. Осадок отфильтровывают фильтрацией под вакуумом, помещают в чашку Петри и сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **6**: 7,1 г (95 %). *T*_{пл} = 171–172 °С.

Лит. данные [1, с. 80]: *t*. пл. = 171–172 °С.

Синтез 2-(1-гидроксиэтил)-1*H*-бензимидазола (**7**).

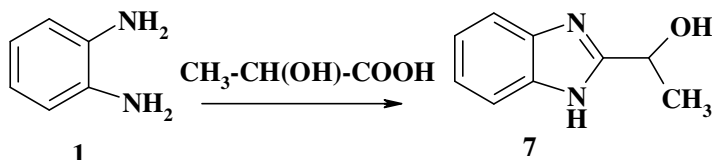


Рис. 2. Схема синтеза 2-(1-гидроксиэтил)-1*H*-бензимидазола **7**.

Вариант а. К 54 г (0,5 моль) *o*-фенилендиамин добавляют раствор, содержащий 84,5 г (0,75 моль) 80 %-ной молочной кислоты, и 500 мл 4*n*. соляной кислоты. Смесь кипятят с обратным холодильником в течение 3 часов. По окончании реакции реакцию массу охлаждают до 80–90 °С. Затем в колбу добавляют 15 грамм мелкоизмельченного активированного угля, доводят реакцию массу снова до кипения и кипятят в течение 20 минут. После чего фильтрацией на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до pH 8–9, Выпавший в осадок

продукт реакции отфильтровывают на воронке Бюхнера. Сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **7**: 54 г (71 %). $T_{пл} = 178-179^{\circ}\text{C}$.

Вариант б. В виалу (емкостью 30 мл) загружают 5,4 г (0,05 моль) *о*-фенилендиамина добавляют раствор, содержащий 6,8 г (0,06 моль) 80 %-ной молочной кислоты, 1,1 г (0,025 моль) метаборной кислоты. Помещают виалу в микроволновый реактор на два часа при температуре 150 °С. По окончании реакции в виалу добавляют 10 мл концентрированной соляной кислоты. Полученный раствор переносят в стакан, нейтрализуют 10 %-ным раствором гидроксида натрия до pH 9. Осадок отфильтровывают под вакуумом, осадок помещают в чашку Петри и сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **7**: 87 %. $T_{пл} = 178-179^{\circ}\text{C}$. Лит. данные [1, с. 133]: т. пл. = 178–179 °С.

Синтез 2-(3-гидроксипропил)-1*H*-бензимидазола (**8**).

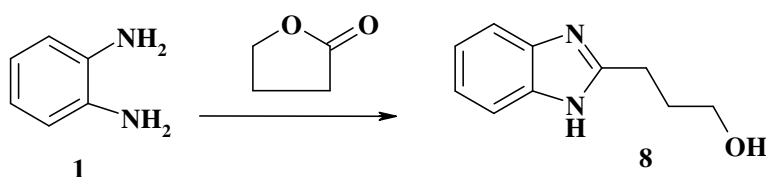


Рис. 3. Схема синтеза 2-(3-гидроксипропил)-1*H*-бензимидазола **8**.

Вариант а. К 54 г (0,5 моль) *о*-фенилендиамина добавляют 64,5 г (0,75 моль) γ -бутиролактона и 500 мл 4*н* соляной кислоты. Смесь кипятят с обратным холодильником в течение 3 часов. По окончании реакции реакцию массу охлаждают до 80–90 °С и добавляют 250 мл воды. В колбу добавляют 15 грамм мелкоизмельченного активированного угля. Доводят реакцию массу снова до кипения и кипятят в течении 20 минут. После чего фильтрацией на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до pH 8–9. Выпавший в осадок продукт реакции отфильтровывают на воронке Бюхнера. Сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **8**: 64,7 г (78%). $T_{пл} = 160-162^{\circ}\text{C}$.

Вариант б. В виалу (емкостью 30 мл) загружают 5,4 г (0,05 моль) *о*-фенилендиамина добавляют 5,2 г (0,06 моль) γ -бутиролактона, 1,1 г (0,025 моль) метаборной кислоты. Помещают виалу в микроволновый реактор на два часа при температуре 150 °С. По окончании реакции в виалу добавляют 10 мл концентрированной соляной кислоты. Полученный раствор переносят в стакан. Нейтрализуют 10 % раствором гидроксида натрия до pH 9. Осадок отфильтровывают фильтрацией под вакуумом, осадок помещают в чашку Петри и сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С. Выход **8**: 7,7 г (93 %). $T_{пл} = 160-162^{\circ}\text{C}$.

^1H -ЯМР (DMSO- d_6): 1,95 м.д. (2H, к, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$); 2,87 м.д. (2H, т, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$); 3,52 м.д. (2H, т, $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$); 4,55 м.д. (1H, ус, OH); 7,04–7,42 м.д. (4H, м, Ar), 12,1 м.д. (1H, с, NH);

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

2-Гидроксиалкил-1*H*-бензимидазолы, а именно 2-гидроксиметил-1*H*-бензимидазол, 2-(1-гидроксиэтил)-1*H*-бензимидазол и 2-(3-гидроксипропил)-1*H*-бензимидазола были получены конденсации *o*-фенилендиамин с 1,5-кратным избытком гликолевой, молочной кислот, а также с γ -бутиролактоном двумя методами. В первом случае исходные вещества кипятили в избытке 4 н. HCl, а во втором случае сплавляли в микроволновом реакторе «Monowave 200» без растворителя в присутствии катализатора метаборной кислоты в соотношении 0,5:1 к *o*-фенилендиамину при температуре 150 °С. По данным эксперимента выходы всех трех бензимидазолов **6-8** были выше в условиях сплавления в микроволновом реакторе и составили соответственно 95 %, 87 % и 93 % (табл. 1). Выходы этих же бензимидазолов в условиях кипения в соляной кислоте сопоставимы с выходами их при использовании как катализатора ортофосфорной кислоты в условиях нагревания с ней без растворителя [6].

Таблица 1

Выходы бензимидазолов 6-8 в зависимости от условий реакции и различных неорганических катализаторов

Соединение	Катализ H ₃ PO ₄ [6]	Катализ HCl, кипячение	Катализ HBO ₂ сплавнение в «Monowave 200»
2-Гидроксиметил-1 <i>H</i> - бензимидазол 6	75 % $\pm$ 3 %	81 %	95 %
2-(1-Гидроксиэтил)-1 <i>H</i> - бензимидазол 7	70 % $\pm$ 2 %	71 %	87 %
2-(3-гидроксипропил)- 1 <i>H</i> -бензимидазол 8	88 % $\pm$ 2 %	78 %	93 %

Структуру полученного 2-(3-гидроксипропил)-1*H*-бензимидазола подтверждали с помощью метода ¹H-ЯМР-спектроскопии. В ¹H-ЯМР спектре 2-(3-гидроксипропил)-1*H*-бензимидазола наблюдаются следующие характеристические сигналы – квинтет двух протонов метиленовой группы с химическим сдвигом 1,95 м.д. гидроксипропильного радикала, триплет двух протонов метиленовой группы с химическим сдвигом 2,87 м.д., триплет двух протонов метиленовой группы с химическим сдвигом 3,52 м.д., уширенный синглет одного протона гидроксильной группы с химическим сдвигом 4,55 м.д., мультиплет четырех ароматических протонов с химическим сдвигом 7,04–7,42 м.д. и синглет одного протона группы NH с химическим сдвигом 12,1 м.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На примере ряда производных 2-гидроксиалкилбензимидазола проведен сравнительный анализ методик синтеза.

2. Установлена высокая эффективность метаборной кислоты, используемой в качестве конденсирующего агента в процессах образования бензимидазольного цикла в условиях микроволнового облучения.

Список литературы

1. Практические работы по химии гетероциклов: Учебное пособие для химических специальностей университетов / А. Ф. Пожарский, В. А. Анисимова, Е. Б. Цупак. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1988. – 157 с.
2. Ребров Е. В. Микроволновой органический синтез в микроструктурированных реакторах / Е. В. Ребров // Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. – 2011. – Т. LV, № 2. – С. 34–42.
3. Синтез и прогнозируемая биологическая активность 1-(1*H*-бензимидазол-2-ил)-4,5-дигидро-3,4-дифенилпиразола / В. В. Цикалов, В. Н. Цикалова, М. Ю. Баевский, Д. И. Нажмединова [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 2. – С. 219–224.
4. Acidic properties of benzimidazoles and substituent effects / M. Ichikawa, S. Nabeya, K. Muraoka [et al.] // Chem. pharm. bull. – 1979. – № 5. – P. 1255–1264.
5. Синтез и расчетная биологическая активность производных 2- α -гидроксиалкилбензимидазола / М. Ю. Баевский, А. И. Поддубов, М. Ю. Раваева [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73), № 3. – С. 289–296.
6. Баевский М. Ю. Конденсация *o*-фенилендиамина с карбоновыми кислотами в присутствии ортофосфорной кислоты / М. Ю. Баевский, Д. Р. Меметов // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 191–196.

USE OF MICROWAVE SYNTHESIS FOR OBTAINING THE SERIES OF 2-HYDROXYALKYLBENZIMIDAZOLE

Tsikarov V. V., Tsikalova V. N., Baevsky M. Y., Solovyov V. N.

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

o-Phenylenediamine was condensed in turn with excess of glycolic, lactic acids, and also with γ -butyrolactone by two methods. In the first case, the starting materials were boiled in excess of 4N HCl. In the second case, the starting materials were fused in a Monowave 200 microwave reactor without a solvent in the presence of a metaboric acid catalyst in a ratio of 0.5:1 to *o*-phenylenediamine at a temperature of 150 °C. 2-Hydroxymethyl-1*H*-benzimidazole, 2-(1-hydroxyethyl)-1*H*-benzimidazole and 2-(3-hydroxypropyl)-1*H*-benzimidazole were obtained, respectively. The yields of these benzimidazoles under the conditions of fusion in a microwave reactor were 95 %, 87 %, and 93 %, respectively. The yields of the same substances on boiling in hydrochloric acid were 81 %, 71 %, and 78 %. These yields under boiling conditions in hydrochloric acid

are comparable to the yields of these substances when phosphoric acid is used as a catalyst under conditions of heating with it without a solvent.

The structure of the resulting 2-(3-hydroxypropyl)-1H-benzimidazole was confirmed by ¹H-NMR spectroscopy. The spectrum contains a quintet of two methylene groups protons with a chemical shift of 1.95 2.87 and 3.52 ppm hydroxypropyl radical. The broadened singlet of one proton of the hydroxyl group has a chemical shift of 4.55 ppm. The multiplet of four aromatic protons is in the region of 7.04–7.42 ppm.

Keywords: benzimidazole, hydroxy acids, microwave synthesis.

References

1. Pozharsky A. F., Anisimova V. A., Tsupak E. B. (1988). Practical work on the chemistry of heterocycles, Rostov on Don: RSU. (in Russ.)
2. Rebrov E. V. Microwave organic synthesis in microstructured reactors, Journal of the Russian Chemical Society. DI. Mendeleev, **LV**(2), 34 (2011). (in Russ.)
3. Tsikalov V. V., Tsikalova V. N., Baevsky M. Yu., Nazhmedinova D. I. Synthesis and predicted biological activity of 1-(1H-benzimidazol-2-yl)-4,5-dihydro-3,4-diphenylpyrazole, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry.* **5 (71(2))**, 219 (2019). (in Russ.)
4. Ichikawa M., Nabeya S., Muraoka K., Hisano T. Acidic properties of benzimidazoles and substituent effects, *Chem. pharm. bull.*, **5**, 1255 (1979).
5. Baevsky M. Yu., Poddubov A. I., Ravaeva M. Yu., Tsikalov V. V., Tsikalova V. N., Solovyov V. N. Synthesis and calculated biological activity of 2- α -hydroxyalkylbenzimidazole derivatives, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry.* **7 (73(3))**, 289, (2021). (in Russ.)
6. Baevsky M. Yu., Memetov D. R. Condensation of *o*-phenylenediamine with carboxylic acids in the presence of phosphoric acid, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry.* **1 (67(1))**, 191, (2015). (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алиев Ильгар Сафарали оглы	Азербайджанская Государственная Академия Физической Культуры и Спорта, доцент, заведующий кафедрой «Игровые виды спорта»
Арсеньев Глеб Николаевич	Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, младший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, e-mail: byron100z@gmail.com
Баевский Михаил Юрьевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, специалист кафедры общей химии
Бахтин Александр Сергеевич	Институт «Академия строительства и архитектуры» (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат технических наук, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения
Бобровская Елена Анатольевна	ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет Минздрава России, профессор кафедры хирургических болезней института непрерывного образования
Бобровский Евгений Анатольевич	ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет Минздрава России, преподаватель кафедры физической культуры
Брындина Лариса Васильевна	ВГЛТУ им Г. Ф. Морозова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор, главный научный сотрудник лаборатории промышленных биотехнологий, e-mail: bryndinv@mail.ru
Валюх Иван Фёдорович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры экологии и зоологии
Воробьева Ирина Геннадьевна	Института естественных и социально-экономических наук НГПУ, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии и экологии, ЦСБС СО РАН, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории дендрологии, e-mail: vorobig@ngs.ru
Гаврилец Татьяна Владимировна	ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, доцент, кандидат биологических наук

Голубцова Галина Александровна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии с курсом медицинской генетики
Горбунова Светлана Юрьевна	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, e-mail: svetlana_8423@mail.ru
Гритчин Максим Владимирович	ФГБУН «НИИСХ Крыма», научный сотрудник, e-mail: maxim_gmv@mail.ru
Джелдубаева Эльвиза Рашидовна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Диатроптов Михаил Евгеньевич	Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории сравнительной этологии и биокommunikации, e-mail: diatrom@inbox.ru
Дорохов Владимир Борисович	Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, доктор биологических наук, заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, e-mail: vbdorokhov@mail.ru
Еременко Виктор Иванович	ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой эпизоотологии, радиобиологии и фармакологии, e-mail: vic.eriomenko@yandex.ru
Жондарева Яна Дмитриевна	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», младший научный сотрудник, e-mail: yana.zhondareva@yandex.ru
Ивашов Анатолий Васильевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и зоологии, e-mail: aivashov@mail.ru
Инюшкин Андрей Алексеевич	Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, кандидат юридических наук, доцент кафедры социальных систем и права

Инюшкин Алексей Николаевич	Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, заведующий кафедрой физиологии человека и животных, доктор биологических наук, профессор
Инюшкина Елена Михайловна	Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных
Исаев Аркадий Петрович	Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, доктор биологических наук, заведующий отдела зоологических исследований
Исакова Татьяна Сергеевна	Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева, аспирант кафедры физиологии человека и животных
Кладковая Ольга Александровна	Ростовский филиал ФГБУ «ВНИИКР», агроном испытательной лаборатории
Клименко Яна Владимировна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, старший лаборант кафедры биологии с курсом медицинской генетики, ординатор 2го года по специальности «Управление и экономика фармации» ФПК и ППС
Кобечинская Валентина Григорьевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: valekohome@mail.ru
Ковалева Маргарита Александровна	ФИЦ ИнБЮМ, научный сотрудник отдела экологии бентоса, кандидат биологических наук, e-mail: kovalmargarita@mail.ru
Ковблюк Николай Михайлович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии
Корчагина Анна Юрьевна	ВГЛТУ им Г. Ф. Морозова, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории промышленных биотехнологий, e-mail: nuta10011@yandex.ru

Костюшок Надежда Яновна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации аспирант кафедры биологии с курсом медицинской генетики
Лигун Наталья Владимировна	Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, лаборант лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, e-mail: dona77@yandex.ru
Макаров Михаил Валериевич	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологии бентоса, e-mail: mihaliksevast@inbox.ru
Матенькова Елена Анатольевна	ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, доцент, кандидат биологических наук
Митичкин Даниил Евгеньевич	Института Агробиотехнологии ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, бакалавр, e-mail: mitichkin_2013@mail.ru
Мороз Анатолий Николаевич	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии с курсом медицинской генетики
Павленко Снежанна Ивановна	Самарский национальный исследовательский университета им. академика С. П. Королева, доцент кафедры физиологии человека и животных, кандидат биологических наук
Павлюченко Иван Иванович	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой биологии с курсом медицинской генетики
Привалова Ирина Леонидовна	ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет Минздрава России, профессор кафедры нормальной физиологии им. проф. А. В. Завьялова
Прозоровская Юлия Игоревна	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, аспирант кафедры биологии с курсом медицинской генетики

Работягов Константин Васильевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
Ратушная Ангелина Дмитриевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», бакалавр кафедры общей химии
Романчук Роман Викторович	Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, аспирант кафедры экологии и природопользования, Ростовский филиал ФГБУ «ВНИИКР», агроном испытательной лаборатории
Ротмистровская Елена Геннадьевна	ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет, старший преподаватель кафедры нормальной физиологии, кандидат биологических наук, e-mail: rotmistrovskaya.lena@mail.ru
Седалищева Саргылана Николаевна	Научно-образовательный центр Академии наук Республики Саха (Якутия), лаборант-исследователь, Арктический государственный агротехнологический университет, магистрант
Селюк Марина Павловна	ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет, доцент, кандидат биологических наук
Сидякин Андрей Иванович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Славинская Ангелина Валериевна	ФГБУН «НИИСХ Крыма, младший научный сотрудник, e-mail: alina.slav.98@mail.ru
Слепцов Сергей Михайлович	Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, младший научный сотрудник
Соловьев Виктор Николаевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр
Стебловская Светлана Юрьевна	ФГБОУ ВО Курская государственная сельскохозяйственная академия, доцент кафедры эпизоотологии, радиобиологии и фармакологии, e-mail: svetlana-steblovskaya@rambler.ru

Суботялов Михаил Альбертович	ФГБОУ ВО Новосибирский государственный педагогический университет, профессор, доктор медицинских наук, профессор
Тренкеншу Рудольф Павлович	ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, e-mail: r.trenkenshu@rambler.ru
Туманянц Каринэ Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
Филимонова Дарья Александровна	Институт естественных и социально-экономических наук НГПУ, аспирант кафедры биологии и экологии, e-mail: darya.filimonova@gmail.com
Цикалов Виктор Валентинович	Институт Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры валеологии и безопасности жизнедеятельности человека
Цикалова Виктория Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
Черятова Юлия Сергеевна	ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, e-mail: u.cheryatova@rgau-msha.ru
Чмелева Светлана Ивановна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Шатеева Валентина Сергеевна	Московский педагогический государственный университет, студентка института биологии и химии, e-mail: shateevav@mail.ru
Шемякин Евгений Владимирович	Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, кандидат биологических наук, научный сотрудник

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Алиев И. С.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ФУТБОЛИСТОВ-
ПОДРОСТКОВ3

Бобровский Е. А., Привалова И. Л., Бобровская Е. А.

ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ
ДОРСИФЛЕКСИЮ СТОПЫ, В РЕЗУЛЬТАТЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ
ФУТБОЛЬНЫХ ТРЕНИРОВОК 12

Брындина Л. В., Корчагина А. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОМА АКТИВНОГО ИЛА И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕГО
МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....25

Валюх И. Ф., Ковблюк Н. М.

ПОПОЛНЕНИЕ СПИСКА ВИДОВ ПАУКОВ (ARACHNIDA, ARANEI)
КАЗАНТИПСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА (КРЫМ)43

Диатроптов М. Е.

СВЯЗЬ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ АКТИВНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ 6–20 МИН
МЕЖДУ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ РАЗНЫХ КЛАССОВ ТЕМПЛОКРОВНЫХ
ЖИВОТНЫХ.....51

Диатроптов М. Е.

ФЕНОМЕН КРАТНОСТИ 12 СУТКАМ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
РЕПРОДУКТИВНОГО ПЕРИОДА У НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ
ВОРОБЬИНЫХ ПТИЦ64

Диатроптов М. Е., Арсеньев Г. Н., Шатеева В. С., Лигун Н. В., Дорохов В. Б.

О ВЗАИМОСВЯЗАННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ УЛЬТРАДИАННЫХ РИТМОВ
ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ДВУХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ДРУГ ОТ ДРУГА
ГРУПП МЫШЕЙ76

Еременко В. И., Ротмистровская Е. Г., Стебловская С. Ю.

АКТИВНОСТЬ ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФАТАЗЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У ТЕЛОЧЕК И
НЕТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ПОРОД.....89

Жондарева Я. Д., Тренкеншу Р. П., Горбунова С. Ю.

РОСТ *TETRASELMIS VIRIDIS* ROUCH. В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ ПРИ
РАЗЛИЧНОМ УГЛЕРОДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ95

Инюшкин А. Н., Исакова Т. С., Инюшкина Е. М., Павленко С. И., Инюшкин А. А.

МОДУЛИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ АРГИНИН-ВАЗОПРЕССИНА НА НЕЙРОНЫ
СУПРАХИАЗМАТИЧЕСКОГО ЯДРА С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СПАЙКОВОЙ
АКТИВНОСТИ..... 104

Клименко Я. В., Павлюченко И. И., Мороз А. Н., Голубцова Г. А.,

Прозоровская Ю. И., Костюшок Н. Я.

АЭРОПАЛИНОМОНИТОРИНГ СПОР ГРИБОВ РОДА CLADOSPORIUM И
ALTERNARIA В Г. КРАСНОДАРЕ В ДИНАМИКЕ 4X ЛЕТ (2018-2021 ГГ)117

Ковалева М. А., Макаров М. В. МОЛЛЮСКИ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАРКИНИТСКОГО ЗАЛИВА (ЧЕРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)	125
Романчук Р. В., Кладковская О. А. КАТАЛОГ КОЛЛЕКЦИИ ЖИВОТНЫХ КАФЕДРЫ ЗООЛОГИИ АКАДЕМИИ БИОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ ИМ. Д.И. ИВАНОВСКОГО ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА. СООБЩЕНИЕ 2. ОТРЯД ЧЕШУЕКРЫЛЫЕ – LEPIDOPTERA, СЕМЕЙСТВО ЛИСТОВЕРТКИ – TORTRICIDAE	140
Седалищев С. Н., Исаяев А. П., Шемякин Е. В., Слепцов С. М. НОВЫЕ ВИДЫ ПТИЦ ВЕРХОЯНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)	156
Селюк М. П., Гаврилец Т. В., Матенькова Е. А., Суботнялов М. А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИОДСОДЕРЖАЩЕГО УДОБРЕНИЯ НА ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ	164
Славинская А. В., Кобечинская В. Г., Ивашов А. В., Гритчин М. В. СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА («ДЫХАНИЕ ПОЧВ») В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА.....	177
Филимонова Д. А., Воробьева И. Г. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ГРИБОВ ГРУППЫ ПОРЯДКОВ DISCOMYCETES (ОТДЕЛ ASCOMYCOTA)	188
Черятова Ю. С., Митичкин Д. Е. ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИИ ВОЗДУШНЫХ КОРНЕЙ <i>CLIVIA MINIATA</i> LINDL. (BOSSE.)	205
Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н., Сидякин А. И. ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН <i>HORDEUM VULGARE</i> L. ПРИ ОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ.....	213
 ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Работягов К. В., Ратушная А. Д., Бахтин А. С. СРАВНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ	224
Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Баевский М. Ю., Соловьев В. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЯДА 2-ГИДРОКСИАЛКИЛ-1Н-БЕНЗИМИДАЗОЛА.....	236
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	243
СОДЕРЖАНИЕ	249