

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

**Том 3 (69), № 4**

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

**Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского**  
**Симферополь, 2017**

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 № 7 от 14 сентября 2017 г.**

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

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

**Раздел «Биология»:**

1. Буков Юрий Александрович, д. б. н., проф.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
4. Коренюк Иван Иванович, д. б. н., проф.
5. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
6. Лебедева Наталья Николаевна, д. б. н., проф.
7. Павленко Владимир Борисович, д. б. н., проф.
8. Сафронова Нина Степановна, к. б. н., доц.
9. Темуриянц Наталья Арменаковна, д. б. н., проф. (редактор раздела «Биология»)

**Раздел «Химия»:**

10. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
11. Гусев Алексей Николаевич, к. х. н., доц.
12. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
13. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
14. Новоторцев Владимир Михайлович, академик РАН
15. Панюшкин Виктор Терентьевич, д. х. н., проф.
16. Федоренко Александр Михайлович, д. х. н., проф.
17. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.

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

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

Подписано в печать 18.09.2017. Формат 70х100 1/16.

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

Дата выхода в свет «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности

ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес редакции, издательства и типографии:

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

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

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 4. С. 3–12.

**УДК 612.825; 616:613.6**

## **СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ В УСЛОВИЯХ СИНХРОННОЙ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЙ**

*Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: alikina93@gmail.com*

В статье представлены результаты исследования особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ в альфа- и бета1-диапазонах у взрослых испытуемых (N=62) при имитации биологического (рука) и небιологического (цветовое пятно) движений с помощью компьютерной мыши в сравнении с аналогичными движениями, осуществляемыми самостоятельно. Обнаружены значимые различия в амплитуде бета1-ритма в центральных отведениях ЭЭГ при сравнении ситуаций имитации движений руки и выполнения самостоятельных движений. Значимое влияние оказывали факторы «Ситуация» ( $F(1, 45) = 18,58, p < 0,001$ ) и «Локус» ( $F(2, 90) = 49,34, p < 0,001$ ). Подобных эффектов реактивности сенсомоторного ритма в случае имитации движения небιологической природы обнаружено не было. Выдвигается гипотеза о том, что дополнительная супрессия амплитуды бета1-ритма в центральных отведениях при имитации движений руки может быть связана с «социальным» характером взаимодействия. Обсуждается возможная взаимосвязь между выявленными модуляциями амплитуды сенсомоторного ритма и функциональной активностью системы «зеркальных» нейронов.

**Ключевые слова:** подражание, биологическое движение, электроэнцефалограмма, сенсомоторный ритм, мю-ритм, альфа-ритм, бета-ритм, «зеркальные» нейроны.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время наблюдается заметный рост количества исследований, направленных на изучение феномена реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ человека в процессе реализации задач на наблюдение за различного рода действиями других людей. Это в значительной степени обусловлено фактом открытия системы «зеркальных» нейронов (СЗН) у обезьян и человека, маркером активации которой предположительно может выступать реакция десинхронизации сенсомоторного ритма ЭЭГ в частотных диапазонах альфа- и бета1-ритмов [1–4].

«Зеркальными» нейронами принято называть нервные клетки коры головного мозга (первоначально обнаруженные в области F5 в премоторной коре у обезьян [5–7]), которые сходным образом активируются как при выполнении собственных действий, так и при наблюдении за аналогичными [8, 9] или же отличными, но

выполняемыми с той же целью действиями [10]. Получила распространение гипотеза о том, что именно эти свойства зеркальных нейронов могут обуславливать эффекты «мгновенного» понимания и предвосхищения действий других людей без прибегания к сложным сознательным умозаключениям [10].

Мю-ритм у взрослых людей представляет собой компонент сенсомоторного ритма ЭЭГ в частотном диапазоне альфа-активности (8–13 Гц), регистрируемый в центральных корковых областях и наиболее выраженный в состоянии физического расслабления. В последнее время при анализе ЭЭГ-активности, связанной с функционированием соматической коры, считается целесообразным анализировать также и нижний частотный диапазон бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ как обладающий в значительной мере сходными функциональными характеристиками [11–14]. Высказываются предположения о том, что альфа-компонент сенсомоторного ритма может отражать уровень активации постцентральной соматосенсорной коры, в то время как бета-компонент может выступать индикатором активности прецентральной моторной коры [11, 15].

Исследователями было выдвинуто предположение, что активность СЗН может отражаться в активности сенсомоторного ритма ЭЭГ, для которого характерна реакция депрессии не только при осуществлении движений, но и при их наблюдении и даже мысленном представлении [1, 16, 17]. Мощность мю-ритма, как правило, уменьшается в большей степени при восприятии действий, выполняемых другими людьми, по сравнению с движениями неодушевленных предметов [17–19]. Нужно отметить, однако, что имеются работы, в которых сообщается о сравнимой реакции десинхронизации при наблюдении и представлении биологического и небιологического движения [20, 21]. Максимальное падение мощности мю-ритма, согласно мнению отдельных исследователей, должно наблюдаться при синхронной имитации движений другого человека [22]. При этом в подавляющем большинстве исследований активности мю-ритма в связи с функционированием системы «зеркальных» нейронов рассматриваются лишь условия наблюдения чужих действий и их отложенной имитации при многократном повторении относительно кратковременных движений длительностью в одну-две секунды, часто с привлечением аутистов [22, 23].

Ранее нами уже было предпринято сравнение степени десинхронизации сенсомоторного ритма в частотных диапазонах альфа- и бета1-ритма [24] при имитации движений светового пятна и руки человека относительно ситуации самостоятельных движений, в результате чего была обнаружена значимо более сильная депрессия мю-ритма в центральном отведении С<sub>4</sub> только при имитации движений руки. Однако в логике этого исследования (n = 37) отсутствовала процедура предварительного отбора испытуемых, однозначно демонстрировавших реакцию десинхронизации ЭЭГ в локусе С3 (соответствующем сенсомоторной проекции движений правой руки, которой работали все испытуемые) при собственных движениях. Согласно нашим собственным данным, примерно у 20 % испытуемых активность ЭЭГ в центральных отведениях не демонстрирует классическую реакцию десинхронизации мю-ритма [25]. При этом результаты

статистического анализа не проходили дополнительную коррекцию при множественных сравнениях.

В связи с вышеизложенным мы посчитали целесообразным провести более строгий узконаправленный анализ проблематики сопоставления активности сенсомоторного ритма ЭЭГ в диапазонах альфа- и бета1-частот при сравнении ситуаций синхронной имитации «живого» и анимированного схематичного движения с использованием более объемной выборки при условии предварительного отбора испытуемых, демонстрирующих классическую реакцию депрессии мю-ритма в ходе выполнения самостоятельных движений.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 62 здоровых взрослых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет (20 мужчин и 42 женщины). ЭЭГ регистрировалось при помощи 24-канального энцефалографа «Нейрон спектр – 3» (фирма «Нейрософт», Иваново) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. Для записи и анализа данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводились монополярно от фронтальных ( $F_3, F_4, F_2$ ), центральных ( $C_3, C_4, C_2$ ), затылочных ( $O_1, O_2$ ), теменных ( $P_3, P_4, P_2$ ), височных ( $T_3, T_4$ ) локусов в соответствии с международной системой наложения электродов 10-20. В качестве референтного электрода служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частота оцифровки ЭЭГ-сигналов составляла 250 Гц. Обработка сигналов производилась с помощью быстрых преобразований Фурье с последующим сглаживанием по методу Баттерворта.

Настоящее исследование является частью более широкой, комплексной исследовательской программы, направленной на изучение электрофизиологических и гуморальных коррелятов различных аспектов социальной перцепции и поведения. В данной работе анализируется блок экспериментальных данных, описывающих показатели реактивности сенсомоторных ритмов при сравнении ситуаций самостоятельной продукции и имитации движений, выполняемых с помощью компьютерной мыши. Имитируемые движения представлены в одном случае концентрическими перемещениями цветового пятна на экране монитора (имитация движений пятна, ИДП), во втором – потоковым видео реальных движений руки экспериментатора с помощью компьютерной мыши (имитация движений руки, ИДР). Ситуации ИДП и ИДР в каждом случае предварялись ситуацией самостоятельных движений с помощью мыши (СД), которым, в свою очередь, предшествовал полуминутный период спокойного бодрствования с фиксацией взгляда на рабочем пространстве дисплея (зрительная фиксация, ЗФ).

Из первоначальной выборки, состоящей из 62 человек, для дальнейшего анализа были отобраны 46 испытуемых, у которых была зарегистрирована супрессия мю-ритма в отведении  $C_3$  (контралатеральном работающей руке) в ситуации СД относительно ЗФ. Это было необходимо сделать, чтобы убедиться, что дальнейшему анализу подвергаются показатели именно сенсомоторного ритма, основным свойством которого считается реакция десинхронизации при осуществлении собственных движений. Дополнительным условием отбора было

требование наличия как минимум 20 секунд записи ЭЭГ в каждой экспериментальной ситуации без артефактов.

В итоговой выборке насчитывались 31 испытуемый женского пола и 15 – мужского. Средний возраст испытуемых составил  $21 \pm 2,8$  г. (здесь и далее в тексте при описании значений переменных указывается среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение).

Для оценки статистической значимости изменений в амплитуде мю-ритма в альфа- и бета1-частотных диапазонах в основных экспериментальных ситуациях относительно заданных исходных состояний использовался дисперсионный анализ для повторных измерений (repeated measures ANOVA), который проводился отдельно для альфа- и бета1-частотных диапазонов в ситуациях ИДП и ИДР относительно СД, а также СД относительно ЗФ. В качестве группирующих факторов были указаны такие переменные, как «Локус» ( $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_2$ ) и «Ситуация» (ЗФ и СД при анализе самостоятельных движений; СД и ИДП – имитации движений светового пятна; СД и ИДР – имитации движений руки).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируемая выборка испытуемых характеризовалась статистически значимой депрессией сенсомоторного ритма ЭЭГ в ситуациях СД относительно ЗФ в обоих анализируемых частотных диапазонах. В диапазоне альфа-ритма значимые различия были найдены для фактора «Ситуация» ( $F(1, 45) = 26,46$ ,  $p < 0,001$ ) и для взаимодействия между факторами «Ситуация» и «Локус» ( $F(2, 90) = 7,26$ ,  $p = 0,001$ ). Отдельно для фактора «Локус» различия не достигали уровня статистической значимости ( $F(2, 90) = 2,96$ ,  $p = 0,06$ ). В диапазоне бета-ритма значимые различия обнаружены как для «Ситуации» ( $F(1, 45) = 41,19$ ,  $p < 0,001$ ), так и для «Локуса» ( $F(2, 90) = 30,95$ ,  $p < 0,001$ ), но не для их взаимодействия ( $F(2, 90) = 0,08$ ,  $p = 0,93$ ).

Таким образом, мы убедились, что активность ЭЭГ в нижнем частотном диапазоне бета-ритма (14-20 Гц), наряду с традиционно рассматриваемой частотой мю-ритма (8-13 Гц), также может выступать индикатором активации соматической коры в связи с реализацией собственных движений.

Далее были проанализированы различия в амплитуде сенсомоторного ритма (отдельно для альфа- и бета1-диапазонов) между ситуациями самостоятельных движений и имитации в контексте подражания схематичному (световое пятно) и «живому», или биологическому, движению (рука). Графическое изображение степени (де)синхронизации сенсомоторного ритма в диапазоне альфа- и бета-частот при ИДП и ИДР относительно СД представлено на рис. 1.

Следует подчеркнуть, что используемая в нашем исследовании экспериментальная парадигма имитации движений существенно отличается от описанных в большинстве опубликованных работ сходной тематики. Как в случае подражания движениям светового пятна, так и при подражании движениям руки экспериментатора было необходимо непрерывно координировать свои действия в соответствии с изменяющейся скоростью модели для имитации. Тем самым достигалась определенная устойчивость внимания испытуемых на протяжении относительно длительного промежутка времени (30 секунд). Кроме того, можно

утверждать, что длительность экспериментальной задачи должна была приводить к достижению достаточно устойчивого функционального состояния ЦНС, характеризующего ее выполнение, из-за чего могли существенно сглаживаться эффекты кратковременной связанной с событием десинхронизации мю-ритма.

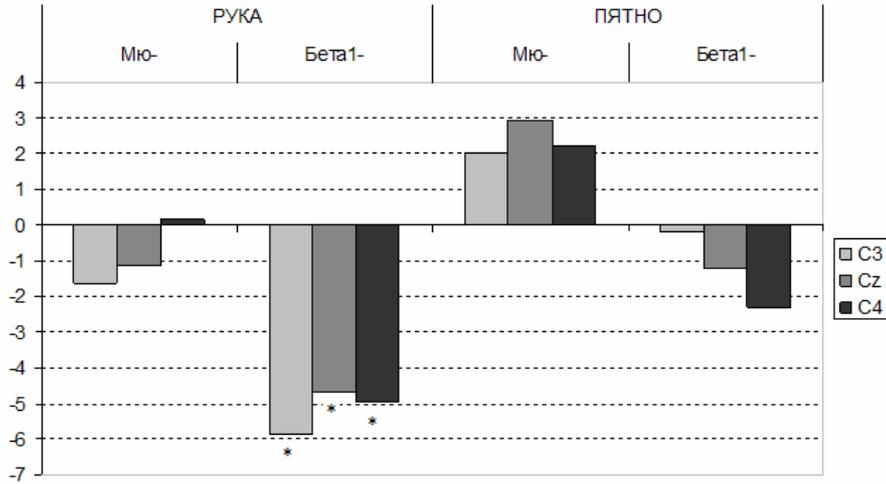


Рис. 1. Величины падения (%) амплитуды  $\mu$ -ритма и бета1-ритма в центральных отведениях ( $C_3, C_z, C_4$ ) при имитации движений светового пятна и руки экспериментатора относительно ситуации самостоятельных движений. Отрицательным значениям соответствует реакция депрессии ЭЭГ. Символом «\*» обозначены случаи значимых различий при  $p < 0,001$ .

Исходя из описанной специфики настоящего экспериментального исследования, неудивительно, что в случае традиционно рассматриваемого мю-ритма в диапазоне альфа-частот нами не было зарегистрировано достоверных отличий для ситуаций собственных и имитируемых движений. Фактор «Ситуация» не продемонстрировал значимых различий между СД и ситуациями имитации ни для условия ИДП ( $F(1, 45) = 1,95, p = 0,17$ ), ни для условия ИДР ( $F(1, 45) = 0,41, p = 0,52$ ). Аналогично не выявлен значимый эффект взаимодействия факторов «Ситуация» и «Локус» (ИДП:  $F(2, 90) = 0,38, p = 0,68$ ; ИДР:  $F(2, 90) = 0,76, p < 0,47$ ). При этом отдельно для фактора «Локус» различия оказались значимыми (ИДП:  $F(2, 90) = 8,01, p < 0,001$ ; ИДР:  $F(2, 90) = 10,94, p < 0,001$ ).

Анализ условия ИДП в нижнем частотном диапазоне бета-ритма позволил заключить, что фактор «Ситуация» также не демонстрирует статистически значимых различий ни отдельно ( $F(1, 45) = 1,65, p = 0,21$ ), ни в сочетании с фактором «Локус» ( $F(2, 90) = 2,55, p = 0,08$ ). Фактору же «Локус» в отдельности снова соответствовали значимые различия ( $F(2, 90) = 45,62, p < 0,001$ ).

Только ситуация ИДР продемонстрировала достоверные различия в амплитуде бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ относительно условия самостоятельных движений. В данном случае значимое влияние оказывали факторы «Ситуация»

( $F(1, 45) = 18,58, p < 0,001$ ) и «Локус» ( $F(2, 90) = 49,34, p < 0,001$ ), но не их сочетание ( $F(2, 90) = 0,87, p = 0,42$ ). Для демонстрации общего соотношения степени десинхронизации бета-ритма в центральных отведениях при двигательной активности относительно состояния покоя представим следующий график (рис. 2).

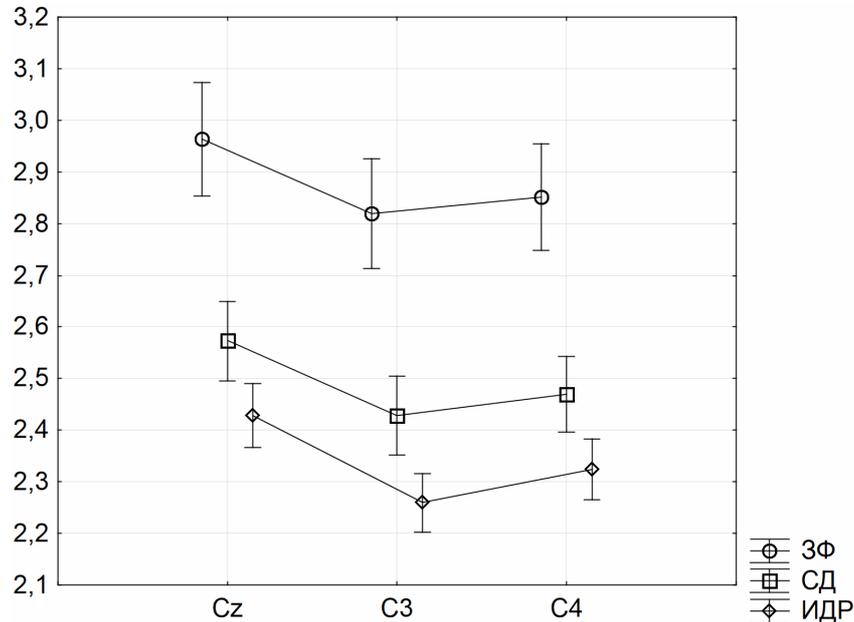


Рис. 2. Амплитуда сенсомоторного ритма в бета1-диапазоне частот (мкВ) в экспериментальных ситуациях зрительной фиксации (ЗФ) в состоянии покоя, самостоятельных движений компьютерной мышью (СД) и имитации движений руки с мышью (ИДР) в центральных отведениях ЭЭГ.

Таким образом, по результатам выявленных статистических закономерностей можно заключить, что лишь бета-компонент сенсомоторного ритма демонстрирует чувствительность к аспекту синхронной имитации наблюдаемого «живого» движения. Даже в такой элементарной форме социальной координации можно проследить дополнительную десинхронизацию низкочастотного бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ относительно супрессии развившейся вследствие реализации собственной двигательной активности. При этом тот факт, что данный эффект не наблюдается при синхронной имитации движений небиологической природы, может свидетельствовать о том, что его источником вряд ли является просто более высокий уровень концентрации внимания на выполняемой задаче. Так как с точки зрения сложности выполняемого задания обе ситуации выглядели идентично, то, по-видимому, именно «социальный» характер имитации служил причиной увеличенной депрессии бета-ритма. Другими словами, имело значение переживание так называемой интенциональности наблюдаемого движения, когда

движение воспринимается уже скорее как действие, за которым стоит специфическое намерение субъекта движения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Как альфа-, так и бета-компонент частотного диапазона сенсомоторного ритма ЭЭГ в центральных отведениях  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$  демонстрируют статистически значимую реакцию десинхронизации при реализации самостоятельных движений компьютерной мышью в течение 30 секунд.
2. Условие синхронной имитации круговых движений светового пятна на дисплее компьютера с помощью компьютерной мыши не выявило значимых отличий в активности обоих частотных диапазонов сенсомоторного ритма ЭЭГ по сравнению с условием самостоятельно реализуемых аналогичных движений.
3. Условие синхронной имитации движений руки другого человека, демонстрируемых в режиме реального времени на дисплее компьютера, вызывает дополнительную десинхронизацию активности бета-ритма (14–20 Гц) ЭЭГ в центральных отведениях  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$  относительно аналогично выполняемых самостоятельных движений. При этом сила десинхронизации неспецифична для различных отведений. Для традиционного частотного диапазона мю-ритма (8–13 Гц) различий выявлено не было.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

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

### Список литературы

1. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing” / J. A. Pineda // Brain Research Reviews. – 2005. – Vol. 50. – P. 57–68.
2. Braadbaart L. Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? / L. Braadbaart, J. H. Williams, G. D. Waite // International Journal of Psychophysiology. – 2013. – Vol. 89, No 1. – P. 99.
3. Vanderwert R. E. The mirror mechanism and mu rhythm in social development / R. E. Vanderwert, N. A. Fox, P. F. Ferrari // NeurosciLett. – 2013. – Vol. 540. – P. 15.
4. Fox N. A. Assessing Human Mirror Activity With EEG Mu Rhythm: A Meta-Analysis. / N. A. Fox, M. J. Bakermans-Kranenburg, K. H. Yoo, L. C. Bowman, E. N. Cannon, R. E. Vanderwert, P. F. Ferrari, M. H. van IJzendoorn. // Psychol Bull. – 2016. – Vol. 142, No 3. – P. 291–313.
5. di Pellegrino G. Understanding motor events: A neurophysiological study / G. di Pellegrino, L. Fadiga, L. Fogassi, V. Gallese, G. Rizzolatti // Exp Brain Res. – 1992. – Vol. 91. – P. 176–180.
6. Gallese V. Action recognition in the premotor cortex / V. Gallese, L. Fadiga, L. Fogassi, G. Rizzolatti // Brain. – 1996. – Vol. 119. – P. 593–609.
7. Rizzolatti G. Premotor cortex and the recognition of motor actions / G. Rizzolatti, L. Fadiga, V. Gallese, L. Fogassi // Cogn Brain Res. – 1996. – Vol. 3. – P. 131–141.
8. Fadiga L. Human motor cortex excitability during the perception of others’ action / L. Fadiga, L. Craighero, E. Olivier // Curr Opin Neurobiol. – 2005. – Vol. 15, No 2. – P. 213–218.

9. Maeda F. Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation / F. Maeda, G. Kleiner-Fisman, A. Pascual-Leone // *J Neurophysiol.* – 2002. – Vol. 87. – P. 1329–1335.
10. Rizzolatti G. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action / G. Rizzolatti, L. Fogassi, V. Gallese // *Nat Rev Neurosci.* – 2001. – Vol. 2. – P. 661–670.
11. Hari R. Human cortical oscillations: a neuromagnetic view through the skull / R. Hari, R. Salmelin // *Trends Neurosci.* – 1997. – Vol. 20. – P. 44–49.
12. Hari R. Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study / R. Hari, N. Forss, S. Avikainen, E. Kirveskari, S. Salenius, G. Rizzolatti // *Proc Natl AcadSci USA.* – 1998. – Vol. 95. – P. 15061–15065.
13. Pineda J. A. The effects of self-movement, observation, and imagination on mu rhythms and readiness potentials (RP's): toward a brain-computer interface (BCI) / J. A. Pineda, B. Z. Allison, A. Vankov // *IEEE Trans RehabilEng.* – 2000. – Vol. 8. – P. 219–222.
14. Neuper C. ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation / C. Neuper, M. Wortz, G. Pfurtscheller // *Prog Brain Res.* – 2006. – Vol. 159. – P. 211–222.
15. Pfurtscheller G. Foot and hand area mu rhythms / G. Pfurtscheller, C. Neuper, C. Andrew, G. Edlinger // *IntJPsychophysiol.* – 1997. – Vol. 26. – P. 121–135.
16. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behav. Brain Funct.* – 2008. – Vol. 4. – P. 47.
17. Cochin S. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography / S. Cochin, C. Barthelemy, S. Roux, J. Martineau // *Eur J. Neurosci.* – 1999. – Vol. 11. – P. 1839–1842.
18. Cochin S. Perception of motion and qEEG activity in human adults / S. Cochin, C. Barthelemy, B. Lejeune, S. Roux, J. Martineau // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1998. – Vol. 107 – P. 287–295.
19. Altschuler E. L. Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells / E. L. Altschuler, A. Vankov, V. Wang, V. S. Ramachandran, J. A. Pineda // *Abstr.-Soc. Neurosci.* – 1997. – Vol. 23, No 2. – P. 1848.
20. Александров А. А. Изменения мю-ритма при различных формах двигательной активности и наблюдении движений / Александров А. А., Тугин С. Н. // *Российский физиологический журнал им. М. И. Сеченова* – 2010. – Т. 96, № 11. – С. 46–54.
21. Francuz P. The suppression of the Mu rhythm during the creation of imagery representation of movement / P. Francuz., D. Zapala // *Neuroscience Letters* – Vol. 495, No 1. – P. 39–43.
22. Bernier R. EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder / R. Bernier, G. Dawson, S. Webb, M. Murias // *Brain and Cognition.* – 2007. – Vol. 64, No. 3. – P. 228–237.
23. Bernier R. The role of imitation in the observed heterogeneity in EEG mu rhythm in autism and typical development / R. Bernier, B. Aaronson, J. McPartland // *Brain Cogn.* – 2013. – Vol. 82, No. 1. – P. 69–75.
24. Махин С. А. Взаимосвязь между индивидуальным уровнем эмоционального интеллекта и реактивностью сенсомоторного ритма при синхронной имитации движений другого человека / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, С. В. Черный, Л. С. Орехова // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2013. – Т. 26 (65). – С. 121–131.
25. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Физиология человека.* – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 28–35.

**COMPARISON OF THE EEG SENSORIMOTOR RHYTHM REACTIVITY EFFECTS UNDER CONDITIONS OF SYNCHRONOUS IMITATION OF BIOLOGICAL AND NON-BIOLOGICAL MOVEMENT***Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B.**V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia  
E-mail: alikina93@gmail.com*

A sample of healthy individuals (N=62) underwent two series of recording the EEG under consecutive conditions of relaxed wakefulness, self-produced circular hand movements with a computer mouse, and a real-time imitation of observed (on the monitor) movements of either biological (hand) or non-biological (colored spot) nature. The differences in the EEG sensorimotor rhythms (alpha, 8–13 Hz; and beta1, 14–20 Hz) amplitude were analyzed separately for each series under the electrodes C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub>. 16 subjects were excluded from further analysis due to the lack of alpha suppression under C<sub>3</sub> electrode during self-produced hand movements which is expected to be seen as an inherent property of alpha sensorimotor rhythm in the contralateral to the moving hand brain hemisphere. For the rest subjects, both alpha and beta1 sensorimotor rhythms demonstrated a significant suppression effect during the self-paced hand movements. The condition of synchronous imitation of the colored spot movements didn't reveal significant differences in the amplitude of both sensorimotor rhythms in comparison with the preceding condition of self-controlled hand movements. The condition of the real-time imitation of another man's hand movements appeared to induce additional suppression of the beta1 sensorimotor rhythm under the three central electrodes when compared to the condition of similarly performed self-paced movements. This additional beta suppression was observed under each central electrode and didn't significantly differ among them. The classical alpha band sensorimotor rhythm didn't produce any significant changes. The authors hypothesize that this additional beta suppression might be relevant to the social nature of this imitation task and has little to do with task-specific attention difference effects since otherwise there would be certain alpha modulations which were not the case. There is briefly discussed a possible relevance of the acquired results to the functional role of the mirror neuron system during social interaction.

**Keywords:** imitation, biological movement, electroencephalogram, sensorimotor rhythm, mu-rhythm, alpha-rhythm, beta-rhythm, mirror neurons.

**References**

1. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing”, *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
2. Braadbaart L., Williams J. H., Waite G. D., Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? *International Journal of Psychophysiology*, **89**(1), 99 (2013).
3. Vanderwert R. E., Fox N. A., Ferrari P. F. The mirror mechanism and mu rhythm in social development, *NeurosciLett.*, **540**, 15 (2013).
4. Fox N. A., Bakermans-Kranenburg M. J., Yoo K. H., Bowman L. C., Cannon E. N., Vanderwert R. E., Ferrari P. F., M. H. van IJzendoorn, Assessing Human Mirror Activity With EEG Mu Rhythm: A Meta-Analysis, *Psychological Bulletin.*, **142**(3), 291 (2016).

5. di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V. and Rizzolatti G., Understanding motor events: A neurophysiological study, *Exp Brain Res.*, **91**, 176 (1992).
6. Gallese V., Fadiga L., Fogassi L. and Rizzolatti G., Action recognition in the premotor cortex, *Brain*, **119**, 593 (1996).
7. Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cogn Brain Res.*, **3**, 131 (1996).
8. Fadiga L., Craighero L. and Olivier E., Human motor cortex excitability during the perception of others' action, *Curr Opin Neurobiol.*, **15(2)**, 213 (2005).
9. Maeda F., Kleiner-Fisman G. and Pascual-Leone A., Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation, *J Neurophysiol.*, **87**, 1329 (2002).
10. Rizzolatti G., Fogassi L. and Gallese V., Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action, *Nat Rev Neurosci.*, **2**, 661 (2001).
11. Hari R., Salmelin R., Human cortical oscillations: a neuromagnetic view through the skull, *Trends Neurosci.*, **20**, 44 (1997).
12. Hari R., Forss N., Avikainen S., Kirveskari E., Salenius S. and Rizzolatti G., Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proc Natl Acad Sci USA*, **95**, 15061 (1998).
13. Pineda J. A., Allison B. Z. and Vankov A., The effects of self-movement, observation, and imagination on mu rhythms and readiness potentials (RP's): toward a brain-computer interface (BCI), *IEEE Trans Rehabil Eng.*, **8**, 219 (2000).
14. Neuper C., Wortz M. and Pfurtscheller G., ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. *Prog Brain Res.*, **159**, 211 (2006).
15. Pfurtscheller G., Neuper C., Andrew C., Edlinger G., Foot and hand area mu rhythms, *Int J Psychophysiol.*, **26**, 121 (1997).
16. Pineda J. A., Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring?, *Behav Brain Funct*, **4(1)**, 47 (2008).
17. Cochin S., Barthelemy C., Roux S. and Martineau J., Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography, *Eur J Neurosci.*, **11**, 1839 (1999).
18. Cochin S., Barthelemy C., Lejeune B., Roux S. and Martineau J., Perception of motion and qEEG activity in human adults, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **107**, 287 (1998).
19. Altschuler E. L., Vankov A., Wang V., Ramachandran V. S. and Pineda J. A., Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells, *Abstr.-Soc. Neurosci.*, **23(2)**, 1848 (1997).
20. Aleksandrov A. A., Tugin S. M., Changes of the mu rhythm in different forms of motor activity and movement observation, *I. M. Sechenov Physiological Journal*, **96(11)**, 46 (2010).
21. Francuz P., Zapala D., The suppression of the Mu rhythm during the creation of imagery representation of movement, *Neuroscience Letters* **495(1)**, 39.
22. Bernier R., Dawson G., Webb S., & Murias M., EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder, *Brain and Cognition*, **64(3)**, 228 (2007).
23. Bernier R., Aaronson B., McPartland J., The role of imitation in the observed heterogeneity in EEG mu rhythm in autism and typical development, *Brain Cogn.*, **82(1)**, 69 (2013).
24. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsyuk N. V., Cherny S. V. and Orekhova L. S., Interrelation between individual level of emotional intelligence and EEG sensomotor rhythm reactivity at the time of synchronized imitation of another person's movement, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **26(65)**, 121 (2013).
25. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V., Pavlenko V. B., Study of the reactivity of the  $\mu$  rhythm during observation, auditory perception, and movement imitation: Correlation with empathic ability, *Human Physiology.*, **41(6)**, 593 (2015).

**УДК 612.65 : 616-056.216**

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА И ИХ ОСОБЕННОСТИ У ДЕТЕЙ-СИРОТ**

*Белалов В. В.<sup>1</sup>, Михайлова А. А.<sup>2</sup>, Кондакова Ю. М.<sup>1</sup>, Куличенко А. М.<sup>2</sup>,  
Павленко В. Б.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: vadyu.bielalov@gmail.com*

Изучали особенности показателей развития психических функций, а также их взаимосвязей у детей-сирот раннего возраста по сравнению со сверстниками из семей. У детей-сирот раннего возраста выявлены сниженные показатели когнитивного, речевого и моторного развития, снижено проявление инструментального помогающего поведения. Для детей-сирот характерны более тесные взаимосвязи между показателями когнитивного и речевого развития по сравнению со сверстниками. Время, проведенное в доме ребенка, является независимой переменной, которая негативно влияет на формирование навыка восприятия речи. Однако отсутствие значимости эффекта указанной переменной при наличии статистически значимых отличий между показателями, вероятно, указывает на разнообразие и неоднородность комплекса факторов, влияющих на нервно-психическое развитие детей-сирот раннего возраста по сравнению со сверстниками.

**Ключевые слова:** когнитивное речевое, моторное развитие, речевое развитие, дети-сироты, помогающее поведение.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Адекватное развитие речевой сферы ребенка формируется при его взаимодействии с родителями или другими значимыми взрослыми [1, 2]. Во время социальной коммуникации взрослый формирует общую с ребенком цель игры, в которой они выступают как «Мы» для достижения поставленных целей, и в этот момент возникает так называемое общее пространство действий (joint commitment), в условиях которого ребенок перенимает у взрослого коммуникативные и социальные навыки. Ф. Варникен и М. Томаселло [3, 4] предполагают, что формирование речевой сферы ребенка возможно только в условиях общего пространства действий. Также с пребыванием в этом пространстве связывают развитие такой формы социального поведения [5], как помогающее поведение. В условиях дома ребенка дети-сироты сталкиваются с депривацией детско-родительских отношений [6], что негативно влияет на нервно-психическое и социальное развитие таких детей. Наличие задержек и отклонений в нервно-психическом развитии детей-сирот показано многими авторами [7–9]. Существуют

исследования, показывающие влияние пребывания в доме ребенка на развитие речевой [10] и когнитивной [8] сфер, особенностей формирования темперамента [11] и поведенческих аспектов [12, 13]. Однако информация о взаимосвязях показателей развития психических функций у детей-сирот раннего возраста фрагментарна и требует дальнейших исследований.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняло участие 112 практически здоровых детей в возрасте от полутора до трех с половиной лет. Основную группу составляли 58 детей из дома ребенка «Елочка» г. Симферополя (39 из них социальные сироты). Контрольная группа была представлена 54 детьми из полных семей. В обследованные группы не были включены дети: а) вес которых при рождении был менее двух с половиной килограммов, б) имеющие генетические заболевания, в) имеющие записи в медицинской карточке о заболеваниях ЦНС, г) с зарегистрированным фетальным алкогольным синдромом, д) рисующие левой рукой. В основную группу (воспитывающиеся в доме ребенка) также не включались дети, пребывавшие в доме ребенка менее 30 % своей жизни (отношение времени пребывания ребенка в детском доме к возрасту ребенка, выраженное в процентах).

Обследование детей-сирот проводилось на базе дома ребенка «Елочка» и в присутствии психолога и врача данного учреждения. Обследование детей из семей – на базе лаборатории нейротологии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Показатели психического развития оценивали тест-системой Бейли III [14]. Использовали следующие шкалы: когнитивная, понимание речи, генерация речи, мелкая и крупная моторика. Выраженность инструментального помогающего поведения оценивали по модифицированной методике, предложенной Ф. Варнекен и М. Томассело [3].

Для исследования влияния основного фактора «группа» (дети из семей, дети-сироты) и интрасубъективного «показатель» (когнитивная, понимание речи, генерация речи, мелкая моторика, крупная моторика, для группы детей-сирот – относительное время пребывания в доме ребенка) применяли дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated measures ANOVA). Для выявления значимости отличий в одноименных показателях психического развития использовали апостериорный (post-hoc) критерий Тьюки. Для поиска взаимосвязей между показателями психического развития применяли корреляционный (по Пирсону) и регрессионный анализы. Для построения регрессионной модели в качестве зависимой переменной был выбран показатель шкалы теста Бейли «понимание речи». Независимыми были выбраны следующие показатели: «помогающее поведение», «когнитивное развитие», «генерация речи», «мелкая моторика», «крупная моторика» и для основной группы испытуемых – «время пребывания». Значимыми считали влияния при  $P < 0,05$ , уровень толерантности переменных для включения в регрессию – 0,01. Критерий «хи-квадрат Пирсона» применялся для сравнения встречаемости помогающего поведения (ПП) в

контрольной и основной группах испытуемых, а для степени выраженности – критерий Манна – Уитни.

Настоящая работа выполнена при поддержке программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР» в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты психологического тестирования основной и контрольной групп представлены на рисунке 1. Из рисунка видно, что показатели психического развития воспитанников детского дома (58 ребенка, основная группа) ниже, чем показатели детей, воспитывающихся в семьях (54 ребенка, контрольная группа).

Применение дисперсионного анализа (ANOVA) позволило выявить статистически значимые эффекты влияния как основного фактора – «группа» ( $F(1,92) = 68,45, P < 0,001$ ), так и взаимодействия факторов «группа» и «шкала развития» ( $F(4,368) = 8,87, P < 0,01$ ).

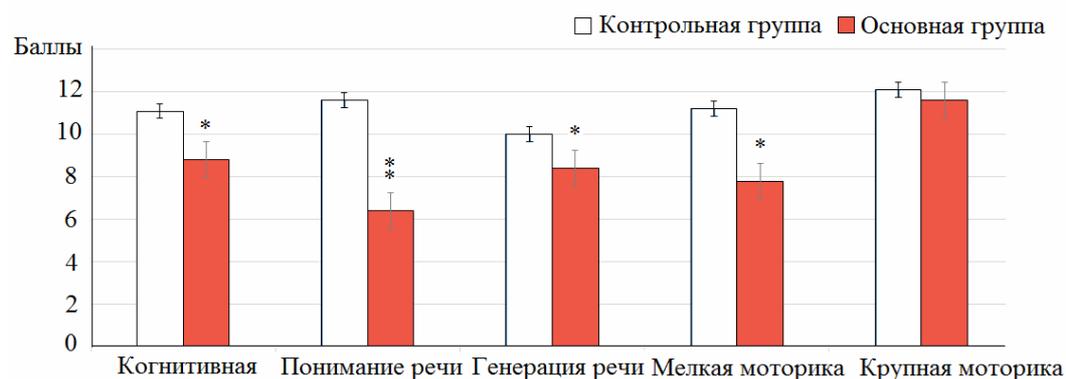


Рис. 1. Результаты психологического тестирования детей контрольной (n=54) и основной (n=58) групп с помощью тест-системы Бейли III. По горизонтали: шкалы теста Бейли; по вертикали: уровень развития детей по шкалам, баллы. Звездочками обозначены достоверные межгрупповые различия в одноименных показателях, выявленные post-hoc критерием Тьюки. \* – различия при  $P < 0,05$ ; \*\* – при  $P < 0,01$ .

Из 112 детей, принимающих участие в исследовании, 28 не проявили ПП и получили оценку 0 баллов. 46 человек из группы семейных детей (n=54) продемонстрировали ПП, 8 не подали упавший предмет. В группе детей-сирот из 58 испытуемых только 38 подали упавший предмет, тогда как остальные 20 – нет.

Применение критерия «хи-квадрат Пирсона» показало, что ПП в группе детей-сирот проявлялось статистически значимо реже, чем в контрольной группе ( $\chi^2 = 4.77$ , при  $P = 0,029$ ).

Выявлено, что средние значения уровня ПП детей контрольной и основной групп составляют соответственно  $5,3 \pm 3,0$  и  $3,7 \pm 3,2$  баллов. Применение U-критерия Манна – Уитни позволило выявить, что превалирование этой формы поведения в группе контроля статистически значимо ( $Z = 2,716$  при  $P = 0,006$ ).

Корреляционный анализ данных поведения семейных детей позволил выявить статистическую значимость позитивной связи между степенью когнитивного развития и уровнем ПП ( $r = 0,351$ ,  $P = 0,008$ ).

Обращает внимание, что среди всех изученных у детей-сирот показателей лишь один не демонстрирует отставания – уровень развития крупной моторики. Предполагается, что данный факт может объясняться надлежащим уходом, который включает полноценное питание, проведение регулярной физзарядки, ежедневных прогулок на свежем воздухе.

Приведенные выше результаты согласуются с данными других исследователей, которые также показали, что у воспитанников детских домов присутствуют задержки в когнитивном и речевом развитии [8, 9]. Данное запаздывание нервно-психического развития детей-сирот объясняют следствием длительной депривации детско-родительских отношений [6].

Предполагается, что относительно низкий уровень ПП, отмеченный в группе детей-сирот, обусловлен следующими причинами: 1) определенной задержкой когнитивного и вербального развития, препятствующей пониманию ситуаций, требующих оказания инструментальной помощи, и 2) незначительным опытом социального взаимодействия, включая общение с взрослыми.

С целью выявления среди изученных показателей наиболее прогностически информативных в отношении формирования способности понимать устную речь нами проведен множественный регрессионный анализ. Результаты регрессионного анализа показателей детей контрольной и основной групп представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Регрессия показателей психического развития на развитие способности понимать речь**

Группа	Зависимая переменная	Оценка качества регрессионной модели	
Контрольная	Понимание речи	F-критерий:	F(5,31) = 3,192
		уровень значимости P:	< 0,019
		скорректированный R <sup>2</sup> :	0,23
Основная	Понимание речи	F-критерий:	F(6,51) = 5,890
		уровень значимости P:	<0,0001
		скорректированный R <sup>2</sup> :	0,34

Результаты анализа показали, что для обеих групп испытуемых присутствует значимое влияние уровня развития отдельных психических функций на способность воспринимать речь. Регрессионная модель указанного влияния, построенная для основной группы испытуемых, проходит поправку Бонферрони. Следовательно, в группе детей-сирот устанавливаются более тесные взаимосвязи между показателями психического развития. Однако нельзя исключать влияние на исследуемые группы испытуемых факторов, не учтенных в регрессии (к примеру, среднее количество времени, проводимого в индивидуальном общении со значимым взрослым).

В Таблице 2 представлен вклад переменных в уравнение регрессии для контрольной группы испытуемых. Жирным шрифтом выделены эффекты, достигшие статистической значимости.

В Таблице 3 – аналогичные данные для основной группы испытуемых. Показатель «крупная моторика» был исключен из общего уравнения регрессии, т. к. коэффициент условно чистой регрессии для данного показателя был ниже уровня толерантности.

**Таблица 2**

**Переменные, вошедшие в уравнение регрессии в контрольной группе испытуемых, и их эффекты**

Показатель	Частный коэффициент корреляции	Значимость частного коэффициента корреляции	Добавляемая доля объясненной дисперсии (скорректированный R <sup>2</sup> )
Помогающее поведение ( $x_1$ )	0.051	0.776	0.179
Когнитивное развитие ( $x_2$ )	<b>0.364</b>	<b>0.036</b>	<b>0.249</b>
Генерация речи ( $x_3$ )	0.128	0.476	0.034
Мелкая моторика ( $x_4$ )	0.135	0.453	0.310
Крупная моторика ( $x_5$ )	0.289	0.102	0.136
<b>Уравнение регрессии</b>	$y = 1,92 + 0,04x_1 + 0,37x_2 + 0,12x_3 + 0,12x_4 + 0,22x_5$		

Таблица 3.

**Переменные, вошедшие в уравнение регрессии в основной группе испытуемых, и их эффекты**

Показатель	Частный коэффициент корреляции	Значимость частного коэффициента корреляции	Добавляемая доля объясненной дисперсии (скорректированный R <sup>2</sup> )
Помогающее поведение ( $x_1$ )	0.177	0.203	0.157
Когнитивное развитие ( $x_2$ )	<b>0.389</b>	<b>0.003</b>	<b>0.204</b>
Генерация речи ( $x_3$ )	<b>0.288</b>	<b>0.036</b>	<b>0.273</b>
Мелкая моторика ( $x_4$ )	0.154	0.269	0.217
Время пребывания в детском доме ( $x_5$ )	-0.111	0.424	0.153
<b>Уравнение регрессии</b>	$y = 1,84 + 0,09x_1 + 0,40x_2 + 0,29x_3 + 0,15x_4 - 0,01x_5$		

Ключевыми исследованиями в области детской психологии [15] показана взаимосвязь между показателями когнитивного, моторного и речевого развития и выдвинуто предположение, что именно становление речевой сферы является критическим для адекватного развития ребенка. Для успешного развития и адаптации к обществу ребенку необходимо понимание ряда основных закономерностей взаимодействия с предметным и социальным миром, которое в свою очередь требует определенного когнитивного базиса. Однако создание такого базиса, который позволит расширять запас сведений об устройстве окружающего мира, возможно только при достаточном развитии речевых способностей ребенка. В обеих группах испытуемых наблюдался схожий характер взаимосвязей между исследуемыми показателями. Это подтверждает теорию о взаимосвязи речевого, когнитивного и моторного развития, которое активно изучается современными исследователями, такими как Ч. Нельсон и М. Томаселло [4, 16]. Указанные авторы считают, что во время взаимодействия ребенка и взрослого формируется так называемое «общее пространство действий», в условиях которого ребенок посредством общения и совместных действий, направленных на достижение общей цели, перенимает сложные формы социального взаимодействия. Таким образом, социальная депривация, с которой сталкиваются дети-сироты, приводит к замедлению развития способности к пониманию речи, что сказывается на темпах нервно-психического развития. Действительно, время, проведенное в доме ребенка, негативно влияет на формирование навыка восприятия речи (табл. 3). Однако отсутствие значимости

указанного эффекта при наличии статистически значимых отличий между показателями (рис. 1), вероятно, указывает на разнообразие и неоднородность комплекса факторов, влияющих на нервно-психическое развитие детей-сирот раннего возраста по сравнению со сверстниками из семей. У детей-сирот все еще присутствуют задержки в нервно-психическом развитии, несмотря на улучшающиеся условия пребывания в соответствующих учреждениях, работу профессиональных психологов, воспитателей и других специалистов. Вышеуказанное свидетельствует о необходимости комплексных психофизиологических исследований для выявления всех особенностей развития детей-сирот с учетом возможных причин их проявлений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У детей-сирот раннего возраста выявлены сниженные показатели когнитивного, речевого и моторного развития, снижено проявление инструментального помогающего поведения.
2. Для детей-сирот характерны более тесные взаимосвязи между показателями когнитивного и речевого развития по сравнению со сверстниками.
3. Время, проведенное в доме ребенка, негативно влияет на формирование навыка восприятия речи. Однако отсутствие значимости указанного эффекта при наличии статистически значимых отличий между показателями, вероятно, указывает на разнообразие и неоднородность комплекса факторов, влияющих на нервно-психическое развитие детей-сирот раннего возраста по сравнению со сверстниками из семей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

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

### Список литературы

1. Rivera-Gaxiola M. Neural patterns to speech and vocabulary growth in American infants / M. Rivera-Gaxiola, L. Klarman, A. Garcia-Sierra [et al.] // NeuroReport. – 2005a. – V. 16. – P. 495–498.
2. Moulson M. C. The effects of early experience on face recognition: an event-related potential study of institutionalized children in Romania / M. C. Moulson, C. H. Zeanah, C. A. Nelson [et al.] // Child Dev. – 2009. – V. 80 – P. 1039–1056.
3. Warneken F. Spontaneous altruism by chimpanzees and young children / F. Warneken, B. Hare, A. P. Melis [et al.] // PLoS Biol. – 2007 – V. 5. – P. 184.
4. Warneken F. Helping and cooperation in children with autism / F. Warneken, K. Liebal, C. Colombi // J. Autism Dev Disord – 2008 – V. 38. – P. 224–238.
5. Hasson U. Mirroring and beyond: coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions / U. Hasson, C. D. Frith // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. – 2016 – V. 371. DOI: 10.1098/rstb.2015.0366.
6. Karel S. R. Analysis of environmental deprivation: Cognitive and social development in Romanian orphans / S. R. Karel, B. J. Freeman // J. Child Psychol. Psychiat. – 1994. – V. 35, № 4. – P. 769–781

7. Chugani H. T. Local brain functional activity following early deprivation: a study of postinstitutionalized Romanian orphans / H. T. Chugani, M. E. Behen, O. Muzik [et al.] // *Neuroimage*. – 2001. – V. 14. – P. 1290–1301.
8. Juffer F. The importance of parenting in the development of disorganized attachment: evidence from a preventive intervention study in adoptive families / F. Juffer, M. J. Bakermans-Kranenburg, M. H. van IJzendoorn // *J. Child Psychol Psychiatry*. – 2005. – V. 46. – P. 263–274.
9. Zeanah C. H. Attachment in institutionalized and community children in Romania / C. H. Zeanah, A. T. Smyke, S. F. SmykeKoga [et al.] // *Child Dev*. – 2005. – V. 76. – P. 1015–1028.
10. Hahne A. Brain signatures of syntactic and semantic processes during children's language development / A. Hahne, K. Eckstein, A. D. Friederici // *J. Cogn. Neurosci*. – 2004. – V. 16. – P. 1302–1318.
11. Kreppner J. M. English and Romanian Adoptees Study Team Can inattention/overactivity be an institutional deprivation syndrome? / J. M. Kreppner, T. G. O'Connor, M. Rutter // *J. Abnorm Child Psychol*. – 2001. – V. 29(6). – P. 513–28.
12. Levin A. R. Social communication difficulties and autism in previously institutionalized children / A. R. Levin, N. A. Fox, C. H. Zeanah [et al.] // *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. – 2015. – V. 54(2). – P. 108–15.
13. Куленкова А. А. Особенности биоэлектрической активности мозга детей раннего возраста, воспитывающихся в детском доме / А. А. Куленкова, Ю. О. Дягилева, В. Б. Павленко // *ЖВНД*. – 2015. – Т. 65, № 5. – С. 607–615.
14. Bayley N., Bayley Scales of Infant and Toddler Development, TX Harcourt Assessment Inc., San Antonio – 2006.
15. Выготский Л. С. Мышление и речь / Выготский Л. С. – Изд. «Национальное образование», 2016. – 386 с.
16. Gräfenhain M. Three-year-olds' understanding of the consequences of joint commitments / M. Gräfenhain, M. Carpenter, M. Tomasello // *PLoSOne*. – 2013. – V. 8(9). doi: 10.1371/journal.pone.0073039. eCollection 2013.

## **INTERRELATION OF INDICATORS OF DEVELOPMENT OF CHILDREN OF EARLY AGE, AND THEIR CHARACTERISTICS IN ORPHANS**

***Belalov V. V., Mikhailova A. A., Kondakova Yu. M., Kylichenko A. M., Pavlenko V. B.***

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

We studied the features of indicators of the development of mental functions, as well as their interrelations in orphans of early age, compared with peers from families. The indicators of mental development were evaluated by the BSID III. The following scales were used: cognitive, speech understanding, speech generation, fine and gross motor skills. The severity of instrumental helping behaviour was assessed by a modified methodology proposed by F. Varneken and M. Tomasello. We applied ANOVA analysis with repeated measurements to study the influence of the main factor "group" (children from families, orphans) and intrasubjective "indicator" (cognitive, speech understanding, speech generation, fine motor skills, gross motor skills, and for a group of orphans relative time of stay in the child's home). To determine the significance of differences in the same indicators of mental development, a post-hoc Tukey criterion was used. To find the relationship between the indicators of mental development, the correlation and multiple regression analyzes were used. To construct the regression model, the indicator of the BSID scale-system "understanding of speech" was chosen as the dependent variable. The following indicators were chosen as independent: "helping behaviour", "cognitive

development", "speech generation", "fine motor skills", "gross motor skills" and for the main group of subjects "residence time". The Pearson chi-square test was used to compare the occurrence of helping behavior in the control and main groups of subjects, and for the degree of expression, the Mann-Whitney test. Orphans, children of early age, were found to have lower rates of cognitive, speech and motor development, and less instrumental helping behaviour. Orphans are more closely related to cognitive and speech development rates than peers. The time spent at the child's home negatively affects the formation of the speech perception skill. However, the absence of significance of this effect, in the presence of statistically significant differences between the indicators, probably indicates the diversity and heterogeneity of the complex of factors affecting the neuropsychological development of orphans of an early age, compared with peers.

**Keywords:** cognitive speech, motor development, speech development, orphans, helping behavior.

### References

1. Rivera-Gaxiola M., Klarman L., Garcia-Sierra A. Neural patterns to speech and vocabulary growth in American infants. *NeuroReport*. **16**, 495 (2005a).
2. Moulson M. C., Zeanah C. H., Nelson C. A. The effects of early experience on face recognition: an event-related potential study of institutionalized children in Romania. *Child Dev.* **80**, 1039 (2006).
3. Warneken F., Hare B., Melis A. P. [et al.] Spontaneous altruism by chimpanzees and young children. *PLoS Biol.* **5**, 184 (2007).
4. Warneken F., Liebal K., Colombi C. [et al.] Helping and cooperation in children with autism. *J Autism Dev Disord.* **38**, 224 (2008).
5. Hasson U., Frith C. D. Mirroring and beyond: coupled dynamics as a generalized framework for modelling social interactions. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* **371**, DOI: 10.1098/rstb.2015.0366. (2016).
6. Karel S. R., Freeman B. J. Analysis of environmental deprivation: Cognitive and social development in Romanian orphans. *J Child Psychol. Psychiat.* **35**(4), 769 (1994).
7. Chugani H. T., Behen M. E., Muzik O. [et al.] Local brain functional activity following early deprivation: a study of postinstitutionalized Romanian orphans. *Neuroimage.* **14**, 1290 (2001).
8. Juffer F., Bakermans-Kranenburg M. J., van Ijzendoorn M. H. The importance of parenting in the development of disorganized attachment: evidence from a preventive intervention study in adoptive families. *J Child Psychol Psychiatry.* **46**, 263 (2005).
9. Zeanah C. H., Smyke A. T., SmykeKoga S. F. [et al.] Attachment in institutionalized and community children in Romania. *Child Dev.* **76**, 1015 (2005).
10. Hahne A., Eckstein K., Friederici A. D. Brain signatures of syntactic and semantic processes during children's language development. *J. Cogn. Neurosci.* **16**, 1302 (2004).
11. Kreppner J. M., O'Connor T. G., Rutter M., English and Romanian Adoptees Study Team Can inattention/overactivity be an institutional deprivation syndrome? *J Abnorm Child Psychol.* **29**(6), 513 (2001).
12. Levin A. R., Fox N. A., Zeanah C. H. [et al.] Social communication difficulties and autism in previously institutionalized children. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.* **54**(2), 108 (2015).
13. Kulenkova A. A., Dyagileva Yu. O., Pavlenko V. B. [et al.] Brain bioelectrical activity in early childhood specific for children living in orphanages. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova.* **65** (5), 607 (2015).
14. Bayley N., Bayley Scales of Infant and Toddler Development, TX Harcourt Assessment Inc., San Antonio. (2006).
15. Vigostky L. S. Cognition and Speech. *Natianal Education.* 386 (2016).
16. Gräfenhain M., Carpenter M., Tomasello M. Three-year-olds' understanding of the consequences of joint commitments. *PLoSOne.* **8**(9), doi: 10.1371/journal.pone.0073039 (2013).

**УДК 159.99:619.766:616.89**

## **МОТИВАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЯ УСПЕХА И УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ**

*Благодарь Е. С., Колотилова О. И., Ярмолюк Н. С., Назаренко И. С.*

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

Сегодня перед нами поставлена актуальная проблема выявления корреляционной зависимости мотивации к достижению успеха и уровнем физической работоспособности у спортсменов с разным уровнем стрессоустойчивости. Мы предположили существование взаимосвязи вышеперечисленных показателей, что и подтвердилось в ходе экспериментального исследования положительной корреляционной зависимостью. Так, показано, что чем выше совокупность мотивационной направленности спортсменов и способность к устойчивости действия экстремальных факторов (стресс), тем выше физическая работоспособность спортсменов, имеющая решающее значение в обеспечении высокого уровня результативности.

**Ключевые слова:** работоспособность, спортсмены, стрессоустойчивость, мотивация.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Актуальной проблемой спортивной физиологии является рост работоспособности и устойчивости спортсменов к действиям факторов внешней среды, что значительно повышает эффективность соревновательной деятельности [1]. В достижении успеха спортсмена важную роль играет уровень мотивации, которая ориентирует и программирует на успех, а стрессоустойчивость помогает адекватно реагировать на раздражающие факторы. Показано [2], что составление индивидуального графика тренировок и физических нагрузок с учетом мотивации и стрессоустойчивости позволяет оптимизировать тренировочный процесс и достигнуть более высоких результатов. Известным фактом является и то, что в спортивной практике для улучшения результата необходимо развивать работоспособность – как общую, так и специальную.

Однако в литературе отсутствуют сведения о взаимосвязи мотивации к достижению успеха и физической работоспособности в зависимости от уровня стрессоустойчивости спортсменов, что и явилось целью настоящего исследования.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняло участие 20 юношей, занимающихся чирлидингом. Все обследованные лица являются студентами 1–4 курсов Таврической академии КФУ им. В. И. Вернадского. Возраст испытуемых составил 18–22 года. Для

определения уровня стрессоустойчивости использовали Бостонский тест на стрессоустойчивость, который состоит из 20 вопросов [3]. Исходя из того, как часто испытуемые выполняли те или иные действия, им предлагались следующие ответы с соответственным количеством очков: почти всегда – 1; часто – 2; иногда – 3; почти никогда – 4; никогда – 5. Затем подсчитывали результаты и от полученного числа отнимали 20 очков. По результатам анкетирования респондентов делили на три группы. К первой группе отнесли спортсменов, набравших менее 10 очков, с высоким уровнем устойчивости в стрессовых ситуациях; во вторую вошли респонденты, набравшие до 30 баллов, с нормальным уровнем стресса; в третью – испытуемые, получившие более 30 баллов, поддающиеся стрессу. По интерпретации теста выделяют 4 группы, однако в нашем исследовании набравших 50 и более баллов (лиц, очень уязвимых для стресса) – не выявлено.

В анкетировании на выявление мотивации к достижению успеха применяли тест Элерсона [3], который включает 41 вопрос, на каждый из которых испытуемый мог отвечать только «да» или «нет». Начисляли по 1 баллу за ответы «да» и «нет» на определенные вопросы. Затем подсчитывали результаты. От 1–10 баллов – низкий уровень мотивации к успеху, 11–16 баллов – средний уровень мотивации. От 17 до 20 баллов – умеренно высокий тип мотивации, и свыше 21 балла – слишком высокий уровень мотивации к успеху [3].

Для определения уровня работоспособности использовали стандартный тест PWC<sub>170</sub> в модификации В. Л. Карпмана (1974) [4].

Статистические расчеты выполнялись с применением стандартных средств компьютерного анализа данных (программа «Statistica – 6.0»). Для расчета взаимосвязей между переменными использовали параметрический корреляционный критерий Пирсона.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

По результатам анкетирования 20 человек команды чирлидеров разделили на три группы: 1 группа (13 человек, 65 %) – высокий тип стрессоустойчивости; 2 группа (6 человек, 30 %) – нормальный тип стрессоустойчивости; 3 группа (1 человек, 5 %) – поддающиеся стрессу. Испытуемых с низким уровнем стрессоустойчивости по результатам анкетирования не обнаружено. Анализ данных показал, что уровни стрессоустойчивости до и после соревнований не имели достоверных различий, т. е. негативных случаев предстартовых сдвигов нами не выявлено (рис. 1, А).

Тестирование по Элерсу за 7 дней до и после соревнований позволило выявить, что в команде чирлидеров со слишком высоким уровнем мотивации – 35 % испытуемых, 52,5 % – с высоким, 10 % – со средним и 2,5 % – с низким уровнем мотивации на достижение успеха (рис. 1, Б). Как видно на рис. 1, Б, после соревнований респонденты с низким уровнем мотивации отнесены в группу с умеренно высоким уровнем. Считаем, что большая часть спортсменов мотивирована правильно, что и служит основой удачного выступления на соревнованиях. Достоверных изменений мотивации до и после соревнований у спортсменов не выявлено.

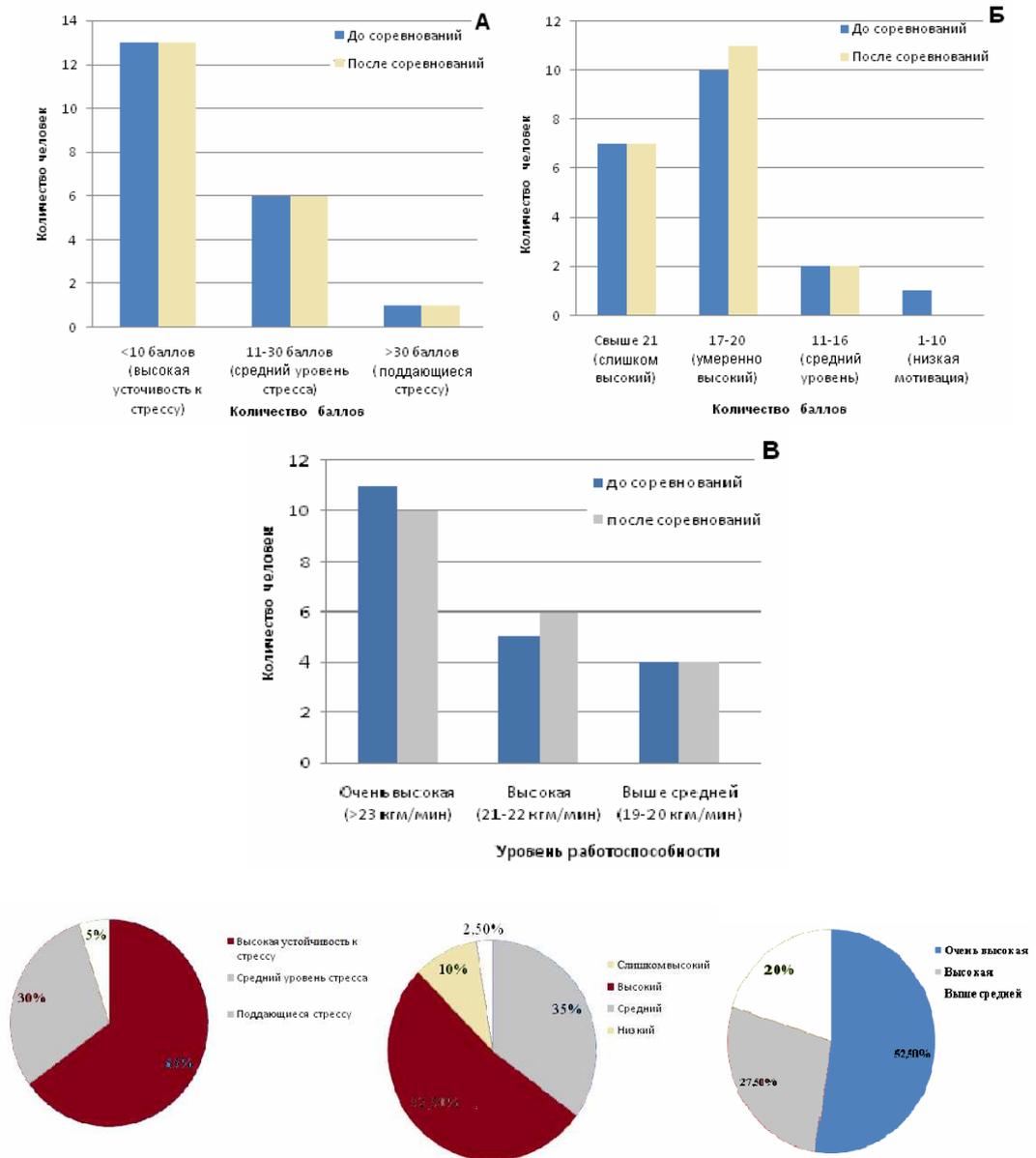


Рис 1. Уровни стрессоустойчивости (А), мотивации к достижению успеха (Б), работоспособности (В) у спортсменов-чирлидеров за неделю до соревнований и через неделю после (вверху); распределение по группам в процентном соотношении (внизу).

Анализ уровня работоспособности спортсменов, участвующих в исследовании, с помощью теста  $PWC_{170}$  в модификации Карпмана показал, что большинство

испытуемых имеет очень высокий ее уровень, а достоверных изменений показателей в зависимости от периода нами не выявлено (рис. 1, В).

Анализ определения тесноты корреляционной связи между двумя количественными показателями: уровня мотивации (X) и стрессоустойчивости (Y), где исходные данные для выборки состояли из 20 испытуемых ( $n = 20$ ), показан на рис. 2. Нами отмечена определенная специфика взаимосвязи данных показателей: преобладают положительные значимые корреляции ( $r = 0,318$ ,  $p \leq 0,05$ ). Т. е. чем выше мотивация, тем выше стрессоустойчивость в исследуемой группе.

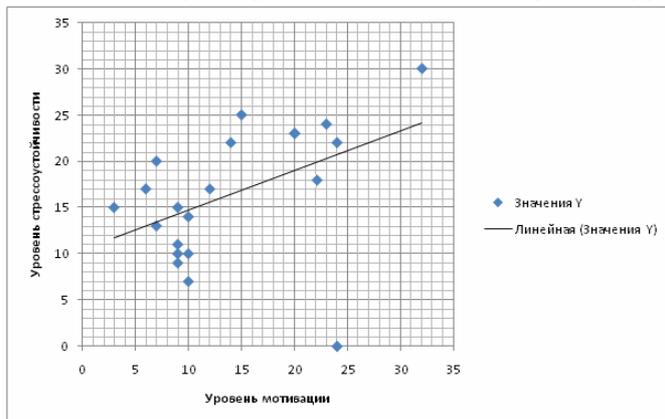


Рис 2. Корреляционное поле соотношения уровня мотивации и уровня стрессоустойчивости спортсменов.

Корреляционный анализ взаимосвязи между уровнем работоспособности спортсменов к их стрессоустойчивости показал наличие положительной корреляции между отмеченными показателями (рис 3), при этом коэффициент корреляции Пирсона составил 0.407 ( $p \leq 0,05$ ), что соответствует высокой тесноте связи между уровнем мотивации и работоспособностью.

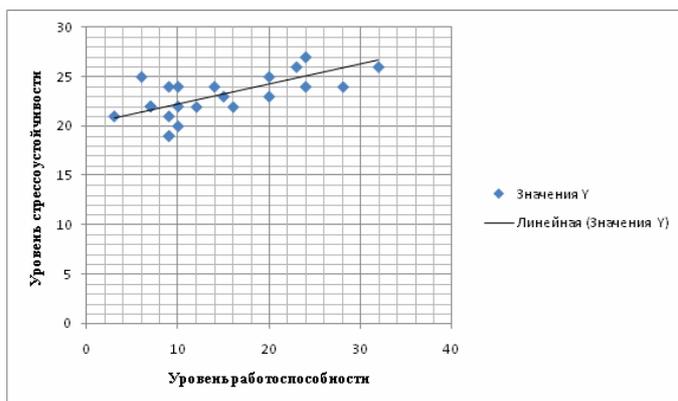


Рис. 3. Корреляционное поле соотношения уровня работоспособности и уровня стрессоустойчивости спортсменов.

Таким образом, в ходе исследования нами обнаружена положительная корреляция между уровнем мотивации и работоспособностью по отношению к стрессоустойчивости студентов, занимающихся чирлидингом.

Сопоставление наших данных с данными других авторов [5, 6] указывает на тот факт, что стрессоустойчивость связана с наличием у человека определенного набора типологических особенностей проявления свойств нервной системы, которые в условиях воздействия на субъект деятельности экстремальных значений (спорт) приводят к запуску биохимических реакций, снижающих физическую работоспособность. Однако успешное воспитание спортсмена и достижение им высоких спортивных результатов при значительном воздействии стрессовых факторов возможно компенсировать за счет большого уровня мотивационных стремлений. Также известно [2], что у высококвалифицированных спортсменов мотив достижения успеха выражен сильнее, чем у спортсменов средней квалификации. Считаем, что выявленная в данном исследовании положительная корреляционная взаимосвязь указанных выше параметров определяется сильным типом нервной системы у спортсменов, инертностью нервных процессов, преобладанием торможения по внешнему балансу и возбуждения по внутреннему балансу, а также высоким уровнем мотивации к достижению успеха. Поэтому высокий уровень мотивации затмевает процесс стресса, так как спортсмен предполагает, что будет получен хороший спортивный результат, что в свою очередь выражается в увеличении физической работоспособности спортсменов.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Считаем, что данные, полученные в ходе экспериментального исследования, позволят оптимизировать тренировочный процесс, достигнуть более высоких результатов в спорте.

#### **Список литературы**

1. Гогунев Е. Н. Психология физического воспитания и спорта: учебное пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / Е. Н. Гогунев, Б. П. Мартынов. – М.: Академия, 2002. – С. 228.
2. Ильин Е. П. Психология спорта / Е. П. Ильин. – СПб.: Питер, 2010. – 352 с.
3. Профессиональные психологические тесты / <http://vsetesti.ru>
4. Карпман В. Л. Тестирование в спортивной медицине / В. Л. Карпман. – М.: Физическая культура и спорт, 1988. – 208 с.
5. Церковский А. Л. Современные взгляды на проблему стрессоустойчивости / А. Л. Церковский // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2011. – Т. 10, №1. – С. 6–21.
6. Станбулова Н. В. Психология спортивной карьеры: учебник для институтов физической культуры / Н. В. Станбулова – М., 2005 – 63 с.

**MOTIVATION OF ACHIEVEMENT OF SUCCESS AND LEVEL OF PHYSICAL OPERATIONAL PERFORMANCE OF THE ATHLETES DEPENDING ON THEIR STRESS-RESISTANCE**

*Blagodyr Ye. S., Kolotilova O. I., Yarmolyuk N. S., Nazarenko I. N.*

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

The actual problem of sports physiology is the growth of the working capacity and stability of athletes to the actions of environmental factors, which significantly increases the effectiveness of competitive activities. In achieving the success of an athlete, an important role is played by the level of motivation that guides and programs for success, and stress resistance helps adequately respond to irritating factors. It is shown that drawing up of an individual schedule of trainings and physical activities with motivation and stress resistance allows to optimize the training process and achieve higher results. It is a well-known fact that in sport practice, to improve the result, it is necessary to develop working capacity, both general and special.

Today, we face the urgent problem of identifying the correlation dependence of motivation for achieving success and the level of physical performance in athletes with different levels of stress resistance. We assumed the existence of a relationship between the above-mentioned indicators, which was confirmed by a positive correlation in the course of the experimental study. Thus, it is shown that the higher the set of motivational orientation of athletes and the ability to sustain the action of extreme factors (stress), the higher the physical performance of athletes, which is crucial in ensuring a high level of effectiveness.

Comparison of our data with the data of other authors indicate the fact that stress resistance is associated with the presence in a person of a certain set of typological features of the manifestation of the properties of the nervous system that, under conditions of impact on the subject-activity of extreme values (sport), leads to the launch of biochemical reactions that reduce physical performance.

**Keywords:** working capacity, athletes, stress resistance, motivation.

**References**

1. Gogunov E. N., Martyanov B. P. *Psychology of physical education and sports: a tutorial for students of higher education*. ped. Educational institutions, 228 (Moscow: Academy, 2002)
2. Ilyin E. P. *Psychology of sports*, 352 (St. Petersburg: Peter, 2010).
3. Professional psychological tests, <http://vsetesti.ru>
4. Carpman V. L. *Testing in sports medicine*, 208 (M.: Physical Culture and Sport, 1988).
5. Tserkovsky A.L. Modern views on the problem of stress resistance, *Bulletin of the Vitebsk State Medical University*, **10**, **1**, 6 (2011).
6. Stanbulov N. V. *Psychology of sports career: a textbook for institutes of physical culture*, 63 (M.: 2005).

**УДК 58.006+712.253]:615**

## **СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ПАРКОВ ЮБК НА ПРИМЕРЕ МАССАНДРОВСКОГО ПАРКА И ТЕРРЕНКУРА В НЕМ**

*Гавенко Т. В.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта,  
Республика Крым, Россия  
E-mail: vadimovna2004@mail.ru*

Освещается часть проведенных исследований по обоснованию круглогодичной рекреационной эффективности парков Южного берега Крыма. Дана краткая характеристика Массандровского парка. Проанализированы параметры микроклиматических факторов, зависящие от характера растительности, рельефа местности и метеорологических изменений посезонно. С учетом местных климатических условий разработан, проанализирован и предложен маршрут терренкура для круглогодичного использования в системе реабилитации.

**Ключевые слова:** Массандровский парк, микроклимат, растительность, реабилитация, потенциал курорта.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Круглогодичное использование курортно-рекреационного потенциала Крыма является сегодня весьма актуальным. Важнейшими структурными рекреационными комплексами городов являются парки [1]. Третья часть их на Южном берегу Крыма – это старые парки, являющиеся охраняемыми объектами [2, 3]. Климатически Южный берег Крыма относят к сухим субтропикам [4, 5]. Соответственно, и парки Южного берега Крыма засаживались преимущественно интродуцентами из субтропических зон земного шара [2, 6, 7], хотя использовались и растения аборигенной флоры [8].

К сожалению, микроклимат парков Южного берега Крыма изучен недостаточно. В этой связи является целесообразным изучение сезонных особенностей микроклимата парковой среды в условиях такого климатического курорта, как город Ялта. Поэтому одним из важных объектов нашего исследования являлся Массандровский парк как типичный старинный ландшафтный парк Южного берега Крыма.

Целью настоящей работы является изучение и анализ параметров микроклиматических факторов экологической среды Массандровского парка и их зависимости от характера растительности, рельефа местности и метеорологических изменений посезонно для разработки научных основ круглогодичного использования парков Южного берега Крыма в системе реабилитации рекреантов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным объектом исследования являлся Массандровский парк. Комплексное систематическое изучение осуществлялось детально-маршрутным методом в течение всех сезонов года. При этом определялся вид (форма) древесного растения, количество экземпляров, примерный возраст [9, 10]. Фотографирование объектов исследования осуществлялось в режиме макросъемки с помощью фотоаппарата Canon PowerShot G15 (Япония).

В результате обследования парка и в соответствии с особенностями решаемых задач был предложен маршрут терренкура.

В 16 указанных в таблице 2 точках терренкура проводилась оценка микроклимата. Измерения проводились около 14.00, что для города Ялты соответствует примерно 12.17 астрономического времени (практически в астрономический полдень). Производились замеры температуры и влажности воздуха, определялись направление и сила ветра, освещенность точки замеров на солнце и в тени, отмечалась облачность и атмосферное давление.

Температуру и влажность воздуха определяли при помощи аспирационного психрометра Ассмана по общепринятой методике. Относительную влажность вычисляли по разнице температур на термометрах психрометра с использованием стандартных таблиц определения влажности.

Атмосферное давление измеряли в мм ртутного столба по барометру-анероиду.

Скорость ветра определяли при помощи анемометра Фусса и секундомера по формуле:

$$S = \frac{N}{60} \text{ м/сек},$$

где S – скорость ветра, N – число оборотов стрелки прибора.

Направление ветра определяли географическим методом (при помощи полоски бумаги и компаса).

Освещенность точки измеряли и использованием люксометров, при этом ультрафиолетовый компонент – с фильтром УФС-3.

Облачность определяли визуально по десятибалльной шкале (при полном отсутствии облаков или очень незначительном их присутствии отмечается «0» баллов, при полном покрытии небосвода облаками – 10 баллов).

Для определения характера растительности и таксономического состава интродуцированной дендрофлоры применяли полевой ботанический метод с использованием определителей высших растений и справочников по декоративным древесным породам [9, 10].

Все полученные значения сводились в таблицы и обрабатывались методом вариационной статистики. Достоверность различий оценивали с использованием t-критерия Стьюдента и Z-критерия Тейлора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Краткая характеристика Массандровского парка.** Массандровский парк является типичным экзотическим парком Южного берега Крыма. Он расположен в восточной части города Ялты. С севера вдоль верхней границы парка проходит автомагистраль Симферополь – Ялта, с северо-запада – ул. Мухина. С запада парк граничит с территорией института им. И. М. Сеченова, с востока – с территорией сан. «Донбасс» и гостиницей «Ялта». С южной стороны парк ограничивает ул. Дражинского, за ней в непосредственной близости находится пляж и море. Парк расположен на склоне южной экспозиции, на пересеченной балками-оврагами местности со сложным рельефом и большими уклонами. По территории парка протекают ручьи, местами ниспадающие в виде каскадов и небольших водопадов. Протяженность парка с запада на восток составляет 845 пог. м, с севера на юг – 570 пог. м. Ориентация основной оси парка СВ-ЮЗ. Сегодня парк занимает 44,1 га.

Парк был заложен в первой половине XIX века под руководством немецкого садовника Карла Кебаха и принадлежал графу М. С. Воронцову. Формировался путем замены местных дубово-грабовых насаждений привезенными экзотами. Первоначально парк выполнял роль питомника по выращиванию ценного посадочного материала для Алушкинского дворцово-паркового комплекса. Композиционный замысел его сводился к созданию живописного ландшафтно-экзотического субтропического парка. В парке отсутствуют какие-либо выдающиеся архитектурные памятники, которые особенно привлекали бы туристов, поэтому нагрузка посетителей здесь умеренная. Нет тут также учреждений культурно-массового обслуживания, поэтому парк является идеальным местом для тихого отдыха.

Массандровский парк является памятником садово-паркового искусства общегосударственного значения с 1972 года. Сегодня это парк в пейзажном стиле с некоторыми элементами регулярности. Основу его составляет лесопарк из аборигенных, чаще лиственных пород древесных растений (рис. 1).

Здесь природа выступает в своей естественной красоте и многообразии форм, цвета, запахов и звуков. Типичный средиземноморский рельеф местности, небольшие группы деревьев, система тропинок, с которых открываются живописные перспективы с разной глубиной просмотра, величественные виды на горные склоны, покрытые хвойным лесом и бесконечный простор моря создают впечатление единства с естественной природой. Каждая часть паркового ансамбля по-своему выразительна и в чем-то связана с другими, расположенными в определенной последовательности, хорошо соотносится между собой и зрителем по абсолютным и относительным размерам, согласована колористически, пропорционально и масштабно. В парке много экзотов и высокодекоративных композиций. В восьмидесятых годах парк реконструировался под руководством известного ландшафтного архитектора М. Д. Родичкина.



Рис. 1. Массандровский парк

Существующие насаждения парка представлены массивами, рощами, группами и отдельными экземплярами деревьев и кустарников. Сегодня здесь насчитывают около 250 видов и разновидностей дендрофлоры. На крутых склонах преобладает естественная растительность с участием дуба пушистого, ясеня остролистного, фисташки туполистной, сосны крымской, грабинника восточного, кизила, шиповника и др.

Количественный состав древесных растений, произрастающих на территории Массандровского парка, представлен в таблице 1.

Из таблицы видно, что количество листопадных деревьев в парке явно преобладает над вечнозелеными и, следовательно, зимой парк выглядит иначе, чем летом. Но вдоль большей части парковых дорожек высажены живые изгороди и бордюры из вечнозеленых лавра благородного, бересклета японского, бирючины блестящей, володушки кустарниковой, жимолости японской, калины вечнозеленой, магонии падуболистной, самшита вечнозеленого, саркококки низкой, которые радуют глаз зеленью и даже цветами в зимнее время.

Многие вечнозеленые виды растений используются как почвопокровные. Множество травянистых газонов также является хорошим фоном для композиций из деревьев и кустарников, дают простор глазу.

Единственное, что вносит диссонанс в живописный пейзаж парка, – это здание гостиницы «Ялта», значительное по высоте и расположенное фронтально к парку. Восприятие этого огромного объема немного смягчается крупными группами хвойных, высаженных между парком и гостиницей.

**Таблица 1**  
**Количественный состав древесных растений, произрастающих на территории**  
**Массандровского парка (по материалам дендрологической инвентаризации**  
**Массандровского парка)**

Растения	Кол-во видов	Количество экземпляров или занимаемая площадь	из них:	
			почвопокровные 2820 кв.м	бордюры 3796 м
1.Хвойные и вечнозеленые деревья	54	3085 экз.	112 кв. м	241 м
2. Листопадные деревья	51	4216+5190 экз.	5 кв. м	-
3. Вечнозеленые кустарники	63	3570 экз.	1642 кв. м	2865 м
4. Листопадные кустарники	53	1339 экз.	464 кв. м	665 м
5.Лианы: глицинии	2	19 экз.	-	-
Плющ крымский	1	202 кв. м	202 кв. м	-
6. Бамбуки	3	~ 130 кв. м	-	-
7. Юкки	3	297 экз.	-	-
8. Пальма веерная китайская	1	108 экз.	-	-
9. Лесопарковая зона, деревья	5	5190 экз.	-	-
10. Травянистые многолетники:				
Акант мягкий	1	2 кв. м	-	-
Пампасская трава	1	11 экз.	-	-
Барвинок	1	390 кв. м	390 кв. м	-

В соответствии с особенностями решаемых задач был предложен такой маршрут терренкура, который обеспечивал максимальное разнообразие ландшафтных картин и видов растений.

**Характеристика маршрута терренкура.** Маршрут включал в себя горизонтальные участки, подъемы и спуски крутизной до 20 градусов. В хвойном участке парка – горизонтальная дорожка с песочным покрытием – аллея пробежки (рис. 2).

**Микроклиматическая характеристика маршрута терренкура.** В процессе прогулки по маршруту терренкура на человека действует комплекс факторов внешней среды. Главными из них и наиболее действенными в нашем случае являются микроклиматические факторы, зависящие от характера растительности, рельефа местности и метеорологических изменений посезонно. Наблюдения проводились во все сезоны года: весной, летом, осенью и зимой. Параметры микроклимата определяли в 13 постоянных точках терренкура, дополнительно в двух точках во время весенних замеров в цветущих местах парка (точки 15, 16) и у

здания отделения детской пульмонологии на территории института (точка 14 – исходная). Краткая характеристика точек замеров представлена в таблице 2.

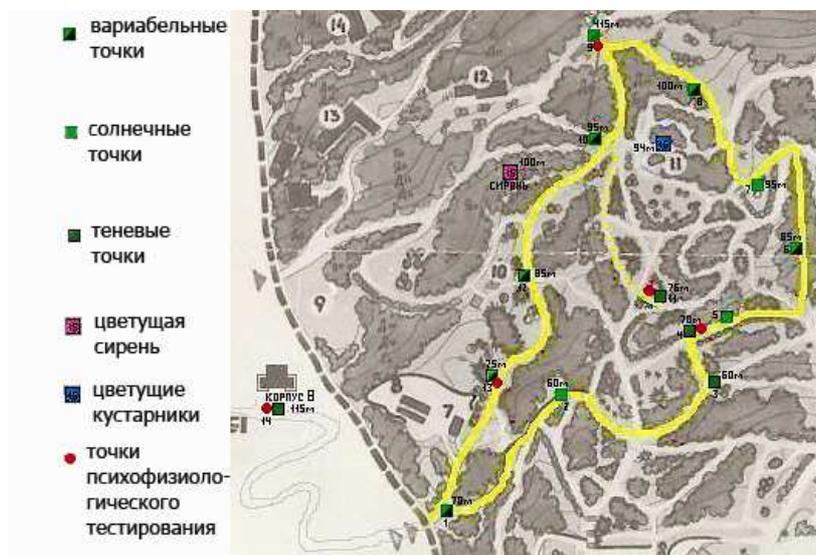


Рис. 2. Маршрут терренкура по парку.

Таблица 2

Краткая характеристика точек определения параметров микроклимата и состояния рекреантов в Массандровском парке

№	Высота н. у. м., метры	Краткая характеристика условий
1	70 (вариабельная)	Развилка у входа в парк (начало терренкура), тень грабинника и кизила, зимой открытое место или тень веточек. Здесь дорога понижается и ветер обычно слабеет
2	60 (солнечная)	Открытое солнце, участок у плакучего кедра, открывается вид на море. Выше дороги – смешанные насаждения, много вечнозеленых видов. Недалеко лоток с текущей водой
3	60 (теневая)	В тени кипариса горизонтального, ниже «Розовой аллеи». Уютное зеленое место, горизонт не просматривается, ниже дороги к югу находится лесопарк, здесь всегда прохладно, хотя тень не очень густая
4	70 (теневая)	«Розовая аллея», тень под дубом каменным, ветки нависают пологом, прохладное приятное место
5	70 (солнечная)	«Розовая аллея», скамья на открытом солнце, чудесный вид на 6 пиний. Ощущается запах хвои
6	85 (вариабельная)	«Лесная аллея», скамейка у ручья в балке. Затененное прохладное место, постоянное журчание воды. Тень кизила, вяза, грабинника

## Продолжение таблицы 2

7	95 (солнечная)	Открытая солнцу лужайка у засохшей старой секвойи и сухого дуба. Под ногами зеленая или жухлая трава, часто ощутим ее сильный запах. Вокруг смешанные насаждения
8	100 (вариабельная)	Асфальтированная дорожка у «Верхней поляны». На дороге лежит большой камень, у него растет земляничник мелкоплодный (сев. стор.). На южной стороне дороги, напротив – ясень остролистный. Обычно замеры проводились в его тени
9	115 (вариабельная)	Самая «высокая» на терренкуре. Скамья у лестницы в северной части парка. Не очень плотная тень клена и вяза
10	95 (вариабельная)	У зарослей бамбука-листоколосника, на скамье в тени старого ясеня остролистного, нижний ярус занимают довольно густые кустообразные вязы, в их тени ведутся замеры. Рядом лоток с постоянно журчащей водой. Дорожка песочная. Открывается вид на 3 пальмы и дорожку, ведущую вверх к ступеням
11	76 (теневая)	«Аллея пробежки». Дорожка песочная в тени хвойных. По северному краю аллеи произрастают 8 кедров атласских до 13 м в высоту, жасмин голоцветковый, туи западные, кипарисы, две лжетуги тиссолистные, пихты нумидийские. С южной стороны вдоль аллеи возвышаются 4 кедра атласских голубых, далее ель колючая голубая, дуб каменный, из кустарников – кизильники, форзиция, хеномелес замечательный, самшит, розы, олеандры, барбарис. Замеры производили в тени пихты. Здесь ощутим сильный хвойный аромат
12	85 (вариабельная)	На асфальтированной дороге, недалеко от «охотничьего» домика. Тень дуба. Ощутим запах хвои. С восточной стороны дороги ряд кипарисов, за ними кедры, сосны. Лужайки с зеленой травой, часто слышен сильный запах свежей травы. Вдоль дороги лоток. Далее аллея преимущественно лиственная
13	75 (вариабельная)	Дубовая скамья под многоствольным 200-летним дубом пушистым, ствол толстый интересной формы. Тенистое место. Рядом лоток, во влажное время года в нем журчит вода
14	115	Точка находится на территории санатория за пределами терренкура у корпуса № 8 (детская пульмонология). Тень кедра атласского. Тут много хвойных растений и вечнозеленых кустарников, дорожки асфальтированы
15	100	Точка располагается в зарослях сирени. Замеры здесь проводились весной во время цветения сирени
16	94	В парке у бассейна. В тени вяза. Тут множество хвойных растений, сосна, кипарисы, вечнозеленые кустарники. Замеры проводились весной, во время цветения хеномелеса, форзиции, калины, кизила

Все точки наблюдения в парке мы разделили на «солнечные», «тневые» и «вариабельные» или «сезонные». «Солнечные» открыты солнцу в любое время года, «тневые» обычно окружены вечнозеленой растительностью и вне зависимости от сезона всегда находятся в тени, «сезонные» – это те, которые летом являются

тенью, а зимой солнечными из-за того, что окружены лиственными породами деревьев, которые на зиму сбрасывают листья.

Средние показатели микроклимата участков терренкура Массандровского парка в режимах разной освещенности в различные сезоны года приведены в таблицах 3–6.

Анализ результатов таблицы 3 показал, что летом солнечные участки несколько теплее, суше и значительно освещеннее теневых и переменных. Последние же летом являются даже более затененными, чем собственно теневые, поскольку на них преобладают листопадные широколиственные породы деревьев, которые создают более густую тень и лучше защищают от ветра, чем хвойные породы. По-видимому, этим обусловлены несколько меньшая их освещенность и ветреность, по сравнению с теневыми.

**Таблица 3**

**Средние показатели микроклимата участков терренкура парка в режимах разной освещенности и достоверность их различий летом**

Показатель \ Точки	Солнечные	Теневые	Переменные
Температура, t, °C	26,1±0,8 p<0,01 n=19	23,3±0,5 p>0,1 n=15	24,1±0,4 p<0,05 n=36
Влажность, %	54,1±2,9 p<0,05 n=19	64,2±2,7 p>0,1 n=15	62,7±2,2 p<0,05 n=36
Освещение, люкс	70826,1±6941,3 p<0,01 n=23	3280,6±484,1 p<0,1 n=19	2380,0±254,2 p<0,01 n=39
Скорость ветра, м/с	0,63±0,11 p>0,1 n=19	0,62±0,12 p>0,1 n=15	0,49±0,07 p>0,1 n=36

Как видно из таблицы 4, осенью микроклиматические различия солнечных, теневых и переменных участков терренкура менее выражены, чем летом. Они практически исчезают между теневыми и переменными участками, что связано с началом листопада в последних. Солнечные участки остаются несколько теплее, являются значительно сильнее освещенными, но и более ветреными.

Согласно таблице 5, зимой по температуре и влажности воздуха теневые и переменные участки терренкура практически не различаются. Солнечные участки остаются самыми теплыми и самыми освещенными, но переменные становятся гораздо более светлыми, чем теневые. Теневые и переменные оказываются теперь гораздо более ветреными, чем солнечные.

Таблица 4

**Средние показатели микроклимата участков терренкура парка в режимах разной освещенности и достоверность их различий осенью**

Показатель \ Точки	Солнечные	Теневые	Вариабельные
Температура, t, °С	16,3±0,3 p<0,1 n=25	15,4±0,3 p>0,1 n=32	15,3±0,2 p<0,01 n=53
Влажность, %	69,94±2,14 p>0,1 n=25	69,58±2,11 p>0,1 n=22	71,88±1,45 p>0,1 n=52
Освещение, люкс	46258,82±4932,34 p<0,01 n=25	3720,45±760,75 p>0,1 n=22	4042,67±538,86 p<0,01 n=52
Освещение УФС-спектра, люкс	197,06±17,75 p<0,01 n=16	38,73±8,73 p>0,1 n=15	39,86±5,20 p<0,01 n=30
Скорость ветра, м/с	0,22±0,05 p>0,1 n=25	0,13±0,04 p>0,1 n=22	0,14±0,05 p>0,1 n=52

Таблица 5

**Средние показатели микроклимата участков терренкура парка в режимах разной освещенности и достоверность их различий зимой**

Показатель \ Точки	Солнечные	Теневые	Вариабельные
Температура, t, °С	11,52±0,48 p<0,05 n=12	10,36±0,23 p>0,1 n=11	10,86±0,39 p>0,1 n=25
Влажность, %	62,31±3,16 p>0,1 n=12	57±3,20 p>0,1 n=11	57,55±2,49 p>0,1 n=25
Освещение, люкс	40325±8079,12 p<0,01 n=12	32950,44±682,76 p<0,01 n=11	13511,57±2358,51 p<0,01 n=26
Освещение УФС-спектра, люкс	132,66±21,07 p<0,01 n=12	33,2±4,69 p<0,01 n=11	80,67±10,57 p<0,05 n=25
Скорость ветра, м/с	0,05±0,02 p>0,05 n=12	0,54±0,24 p>0,1 n=11	0,337±0,07 p<0,01 n=25

Из таблицы 6 ясно, что весной, как и зимой, практически нет различий между участками по температуре и влажности воздуха, хотя сами величины этих показателей становятся более высокими. Вариабельные участки еще остаются более светлыми, чем теневые, хотя и менее освещенными, чем солнечные. При этом величины освещенности везде значительно выше, чем зимой. Наиболее ветренными остаются теневые участки, хотя в целом в парке становится тише.

Таким образом, проанализировав таблицы, можно сказать, что летом различия между участками терренкура парка в режимах разной освещенности наиболее выражены и касаются всех показателей микроклимата. В остальные сезоны микроклимат парка отличается меньшей изменчивостью. Различия касаются преимущественно освещенности и силы ветра (особенно зимой).

Таблица 6

Средние показатели микроклимата участков терренкура парка в режимах разной освещенности и достоверность их различий весной

Показатель \ Точки	Солнечные	Теневые	Вариабельные
Температура, t, °С	14,55±1,6 p>0,1 n=9	13,43±1,39 p>0,1 n=9	15,04±1,21 p>0,1 n=18
Влажность, %	76,56±3,49 p>0,1 n=9	75,8±3,9 p>0,1 n=9	75,6±2,90 p>0,1 n=18
Освещение, люкс	71500±11227,78 p<0,01 n=9	4488,9±1168,84 p<0,01 n=9	26842,09±4509,05 p<0,01 n=19
Освещение УФС-спектра, люкс	479,58±231,57 p<0,01 n=9	29,57±5,61 p<0,01 n=9	133,33±19,33 p<0,05 n=18
Скорость ветра, м/с	0,06±0,03 p>0,1 n=9	0,21±0,11 p<0,1 n=9	0,05±0,02 p>0,1 n=18

Интересно отметить, что зимой и весной одинаково достоверны отличия в показателях освещенности, в том числе и УФС-спектра, между различными участками терренкура, что подтверждает правильность нашего разделения точек на солнечные, теневые и вариабельные.

Достоверность различий средних показателей микроклимата участков терренкура в зависимости от сезона года приведена в таблицах 7–9.

Таблица 7

Достоверность различий средних показателей микроклимата открытых солнцу участков терренкура при сравнении по сезонам года

Показатели \ Сравнение по сезонам	Температура, t, °С	Влажность, %	Освещение, люкс	Освещение УФС-спектра, люкс	Скорость ветра, м/с
Летние к осенним	p<0,01	p<0,01	p<0,01	-	p<0,01
Летние к зимним	p<0,01	p<0,1	p<0,01	-	p<0,01
Летние к весенним	p<0,01	p<0,01	p>0,1	-	p<0,01
Осенние к зимним	p<0,01	p<0,05	p>0,1	p<0,05	p<0,05
Осенние к весенним	p>0,1	p>0,1	p<0,05	p>0,1	p<0,1
Зимние к весенним	p<0,05	p<0,01	p<0,05	p<0,1	p>0,1

На солнечных участках терренкура, согласно таблице 7, летом температура воздуха, освещение и скорость ветра достоверно выше, чем осенью и зимой.

Между летними и весенними точками замеров нет достоверной разницы в характере освещенности. Температура и скорость ветра достоверно выше летом, а относительная влажность воздуха достоверно выше весной.

Таблица 8

**Достоверность различий средних показателей микроклимата теневых участков терренкура при сравнении по сезонам года**

Показатели Сравнение по сезонам	Температура, t, °C	Влажность, %	Освещение, люкс	Освещение УФС-спектра, люкс	Скорость ветра, м/с
Летние к осенним	p<0,01	p>0,1	p>0,1	-	p<0,01
Летние к зимним	p<0,01	p<0,1	p>0,1	-	p>0,1
Летние к весенним	p<0,01	p<0,05	p>0,1	-	p<0,05
Осенние к зимним	p<0,01	p<0,01	p>0,1	p>0,1	p<0,05
Осенние к весенним	p<0,05	p>0,1	p>0,1	p>0,1	p>0,1
Зимние к весенним	p<0,05	p<0,01	p>0,1	p>0,1	p>0,1

Осенью показатели температуры воздуха, влажности, освещения в УФС-спектре и скорости ветра достоверно выше зимних, но нет достоверных различий в показателях освещенности.

Таблица 9

**Достоверность различий средних показателей микроклимата переменных участков терренкура при сравнении по сезонам года**

Показатели Сравнение по сезонам	Температура, t, °C	Влажность, %	Освещение, люкс	Освещение УФС-спектра, люкс	Скорость ветра, м/с
Летние к осенним	p<0,01	p<0,01	p<0,01	-	p<0,01
Летние к зимним	p<0,01	p>0,1	p<0,01	-	p>0,1
Летние к весенним	p<0,01	p<0,01	p<0,01	-	p<0,01
Осенние к зимним	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,05
Осенние к весенним	p>0,1	p>0,1	p<0,01	p<0,01	p>0,1
Зимние к весенним	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01	p<0,01

Между осенними и весенними показателями нет достоверных различий по температурным, влажностным и данным освещения в УФС-спектре, скорость ветра на уровне тенденции больше осенью, а освещенность достоверно выше весной.

Между зимними и весенними освещенными участками не было достоверной разницы по величинам скорости ветра, но весной были больше на уровне тенденции показатели в освещении УФС-спектра, достоверно выше – данные температуры и освещения, высоко достоверно выше – величины относительной влажности воздуха.

На участках парка, расположенных в тени (табл. 8), летом данные температуры и скорости ветра достоверно выше, чем осенью, а по влажности и освещению различия недостоверны. Летом влажность на уровне тенденции выше, чем зимой, но нет достоверных различий по величинам освещения и скорости ветра.

Отличия между летними и весенними температурами высоко достоверны, влажность достоверно больше весной, а скорость ветра летом, однако нет достоверной разницы в освещении теневых участков.

Температура и влажность осенью по сравнению с зимой высокодостоверно выше, а скорость ветра – достоверно ниже, различия в освещенности и освещении в УФ-спектре не достоверны. Осенью температура достоверно выше, чем весной. По остальным показателям между осенними и весенними параметрами микроклимата нет достоверной разницы.

Показатели влажности весной высокодостоверно больше зимних, данные температуры – достоверно больше зимних, а величины освещенности, освещения в УФ-спектре и скорости ветра практически не различаются.

Что касается участков, названных «вариабельными» (табл. 9), то температура и скорость ветра абсолютно достоверно выше, а показатели влажности и освещенности абсолютно достоверно ниже летом, нежели осенью и весной. Осенью температура и влажность абсолютно достоверно выше, скорость ветра достоверно выше, а освещенность высокодостоверно ниже, чем зимой. Зимой абсолютно достоверно выше скорость ветра и абсолютно достоверно ниже показатели температуры, влажности и освещенности, чем весной, кроме того, температура и освещенность зимой высокодостоверно ниже, чем летом.

Весной освещенность и освещение в УФ-спектре высокодостоверно выше, чем осенью.

Недостоверной оказалась разница в величинах влажности и скорости ветра между летними и зимними, а также между осенними и весенними данными замеров. Кроме того, недостоверным было различие в величинах температур, измеряемых весной и осенью на участках, названных «вариабельными».

Суммируя данные таблиц 7, 8 и 9, можно сделать вывод, что по температуре и влажности менее всего отличаются осенние и весенние показатели на участках всех трех типов. Участки, открытые солнцу, более всего изменчивы по сезонным параметрам микроклимата. В теневых же участках недостоверно изменение освещенности (и в УФ-спектре) в различные сезоны года.

Таким образом, открытые солнечные участки во все сезоны остаются самыми теплыми и самыми освещенными, а летом, когда различия между участками терренкура наиболее выражены и касаются всех показателей микроклимата, даже более душными. Микроклимат затененных участков летом более мягок, в них ослаблены яркое освещение, радиационный нагрев, ветер. В остальные сезоны микроклимат парка отличается меньшей изменчивостью. Различия касаются преимущественно освещенности и силы ветра (рис. 3, 4 и 5).



Рис. 3. Визуальные изменения в точке № 1 в зависимости от сезона  
Сезон: а – зима, б – лето, в – весна, г – осень.

При прохождении терренкура в парке вне зависимости от сезона чередование открытых и затененных участков позволяет говорить об оптимальной среде с периодической сменой стимулирующего и успокаивающего воздействия на человека.

**Характеристика микроклимата Массандровского парка.** Показатели микроклимата Массандровского парка, полученные в результате усреднения значений замеров во всех точках терренкура, представлены в таблице 10. Их можно сравнить с показателями микроклимата открытого места, снятыми в те же дни и в те же часы. Это показания метеостанции ГНБС, расположенной на высоте 200 м над у. м. на абсолютно открытой ветрам и солнцу площадке (табл. 11).

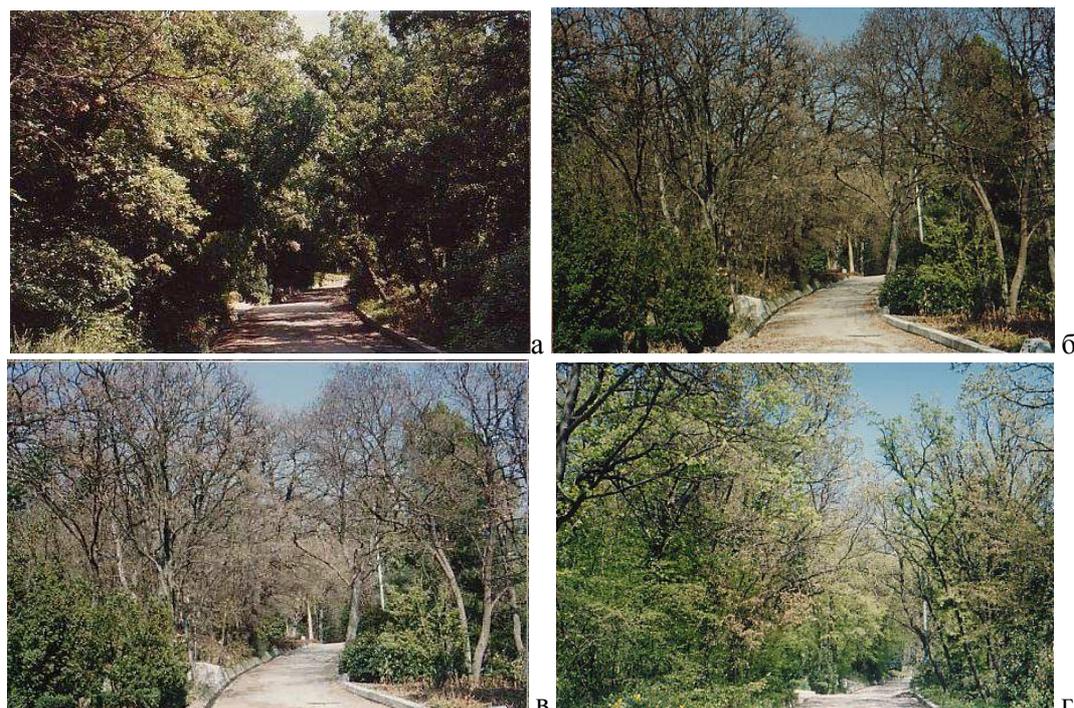


Рис. 4. Аллея листопадных деревьев в разные сезоны (Массандровский парк)  
Сезон: а – лето, б – осень, в – зима, г – весна.

Таблица 10

**Средние показатели микроклимата по Массандровскому парку  
в различные времена года**

Показатель \ Сезон		Лето	Осень	Зима	Весна
Температура, t, °C		24,49±0,35 n=70	17,57±0,15 n=117	10,97±0,2 n=56	14,57±0,7 n=39
Влажность, %		60,7±1,5 n=70	70,5±1,0 n=117	57,8±1,6 n=56	75,41±1,6 n=39
Ветер сила, м/с		0,59±0,06 n=70	0,16±0,03 n=117	0,3±0,07 n=56	0,089±0,03 n=39
Освеще- ние люкс (лк)	Общее	23936±3993,5 n=70	13047,7±1965,3 n=118	17951,9±2783,1 n=57	30630,0±5008,2 n=40
	Ультрафи- олетовое	-	73,2±9,2 n=72	81,0 ±8,1 n=56	206,0±75,3 n=40

Как видно из таблицы, в парке теплее всего летом, холоднее – зимой. Осень несколько теплее весны. Более сухой воздух летом и зимой, влажнее – весной и осенью. Летом и зимой ветренее, чем весной и осенью. Освещенность наибольшая

весной. Летом несколько меньше из-за тени, создаваемой листьями. Наименьшая освещенность осенью и зимой. Вместе с тем во все сезоны микроклимат парка благоприятен для прогулок.

Сравнение показателей микроклимата парка и открытого места (метеостанция ГНБС, расположенная на высоте 200 м над у. м. на абсолютно открытой ветрам и солнцу площадке, – таблица 11), снятых в те же дни и в те же часы, позволяет констатировать, что в парке микроклимат значительно мягче, чем на открытом месте



Рис. 5. Аллея пробежки среди вечнозеленых хвойных растений (Массандровский парк)

Сезон: а – зима, б – осень, в – весна, г – лето.

Таблица 11

Средние показатели микроклимата открытого места (площадка метеостанции ГНБС) в различные сезоны года и достоверность их отличий от показателей в парке

Сезон		Лето	Осень	Зима	Весна
Показатель					
Температура, t, °С		23,15±0,79 n=8	13,9±0,5 n=14 p<<0,01	7,5±0,7 n=15 p<<0,01	13,4±0,7 n=19
Влажность, %		57,6±6,2 n=8	70±2,7 n=14	61,4±2,8 n=15	62,7±3,5 n=19 p<<0,01
Ветер, м/с		3,75±0,7 n=8 p<<0,01	3,57±0,4 n=14 p<<0,01	6,3±0,8 n=15 p<<0,01	3,47±0,3 n=19 p<<0,01
Освеще ние, люкс	Общее	76857,1±11895,2 n=7 p<<0,01	47133±8393,0 n=9 p<<0,01	45100±15821,1 n=15 p<<0,01	71666,7±20085,9 n=3 p<0,05
	УФ- спектра	-	250, ±32,7 n=5 p<<0,01	99,5±37,4 n=4 p>0,1	255, ±60,4 n=4 p>0,1

Анализируя обе таблицы, можно констатировать, что в парке микроклимат значительно мягче, чем на открытом месте. Средние показатели температуры летом практически не отличаются, в остальные сезоны года она несколько выше в парке. Разница во влажности воздуха варьирует в зависимости от сезона: летом, осенью и зимой она в парке и открытом месте практически одинакова, весной – выше в парке. Сила ветра в парке значительно ниже, чем на метеостанции. Средние показатели освещения во все время года в парке ниже, чем на открытом месте, и показатели освещения ультрафиолетового спектра тоже. Все эти различия объяснимы наличием в парке большого количества древесных растений, которые служат преградой солнцу и ветру, задерживают влагу и создают условия более «теплые», чем на метеостанции.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что Массандровский парк – это цельный природный комплекс с лечебно-оздоровительным и курортно-рекреационным потенциалом.

Чередование лесных массивов и открытых пространств с видами на море и горы позволяет говорить о возможности ландшафтотерапии. Насыщенный фитонцидами воздух, благоприятный микроклимат и характерный рельеф местности указывают на возможность круглогодичного воздействия парковой среды на физиологические функции организма человека.

### Список литературы

1. Горохов В. А. Зеленая природа города. В 2-х томах. / Горохов В. А. – М.: Архитектура-С, 2012. – 528 с.
2. Герасимчук В. Н. История интродукции вечнозеленых лиственных древесных растений в Никитском саду / В. Н. Герасимчук, А. Л. Харченко // Дендрология, цветоводство и садово-

- парковое строительство: Междунар. науч. конф., посвящ. 200-летию Никитского ботан. сада, 5–8 июня 2012 г.: матер. – Ялта, 2012. – С. 28.
3. Рубцов Л. И. Садово-парковый ландшафт / Л. И. Рубцов – Киев: Из-во АН УССР, 1956. – 212 с.
  4. Важов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма / В. И. Важов // Труды Никит. ботан. сада. – 1977. – Т. 71. – С. 92–120.
  5. Агроклиматический справочник по Автономной республике Крым (1986–2005 гг.). – Симферополь: Таврида, 2011. – 343 с.
  6. Галушко Р. В. Древесные растения с красивыми плодами и листьями в декоративном садоводстве / Р. В. Галушко, В. М. Кузнецова, М. В. Ежов. – Киев: Аграрна наука, 2005. – 40 с.
  7. Максимов А. П. Парковый дендроассортимент Севастопольской зоны (Крым) / А. П. Максимов, Л. Н. Слизик-Маслова // Старинные парки и ботанические сады – научные центры сохранения биоразнообразия растений и охраны историко-культурного наследия. Материалы межд. науч. конф. – Умань, 2011. – С. 233–234.
  8. Потапенко И. Л. Древесные растения аборигенной флоры в зеленом строительстве восточного района Южного берега Крыма / Потапенко И. Л. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2010. – Вып. 2. – С. 30–41.
  9. Определитель высших растений Крыма. Под ред. Н. И. Рубцова. – Л., 1972. – 550 с.
  10. Чепик Ф. А. Определитель деревьев и кустарников / Чепик Ф. А. – М., 1985. – 232 с.

### **CRIMEAN SOUTH COASTAL PARKS SEASONAL MICROCLIMATE PECULARITIES (ON THE EXAMPLE OF MASSANDRA PARK AND ITS TERRENKUR)**

*Gavenko T. V.*

*Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Centre, Yalta, Republic of Crimea, Russia  
E-mail: vadimovna2004@mail.ru*

Round-year utilization of the kurort and recreation potential of the Crimea should be considered as an actual task today. Most important role in the recreation is provided by Crimean South coastal parks, occupying in total about 1500 ha. About third out of these parks is represented by old parks, being the protected territories. Unfortunately the microclimate even of these parks is studied insufficiently and is poorly known. We aimed to study seasonal microclimate peculiarities in Massandra park, considering it to be a typical landscape park of the South Coast of Crimea. In particular the microclimate was studied in relation to type of vegetation, microrelief, and meteorological changes during the whole season. These data can be used as a scientific validation of the year-round exploitation of the Crimean South Coast Parks for the rehabilitation of recreants.

Massandra park was studied by excursion method during the whole year. During the excursion we have determined form and species of all tree plants along the itinerary, the number of specimens, approximate age. Photographs of the trees were taken with the help of the CanonPowerShot G15 camera (Japan). We have developed a terrenkur itinerary with 16 control points along it where microclimate data were taken for analysis (detailed description of these points is given in Table 2). Measurements were done approximately at 14:00 what corresponds to the astronomical noon in Yalta. Specifically, the temperature and air humidity were downloaded, as well as insolation in the sun and shadow which was calculated with the help of luxmeters, and filter UVS-3 (the latter allowed to measure the

UV component of radiation), strength and direction of wind were listed as well as atmospheric pressure. The cloudiness of the sky was evaluated visually with 10 points for the full coverage of the sky by clouds and 0 points for the full absence of clouds on the sky.

All data obtained were tabulated and further analyzed by methods of variation statistics. To determine the degree of significance for differences found t-criterion of Student and Z-criterion of Taylor were calculated.

Massandra park founded by German gardener Karl Kebakh in the first half of the XIXth century and belonged to the Comte M. S. Vorontsov. Park was formed by substitution of exotic trees for original oak and hornbeam standings. Originally the park was designed as the nursery to grow up the saplings of the trees intended to be planted in Alupka park complex, but later, it turned out to be itself a picturesque subtropical park. Due to absence of outstanding architectural monuments and absence organization of mass tourist service, the park becomes the ideal place for rest in silence. Park was named as the monument of garden and park art in 1972 and in 1980s it was reconstructed under guidance of the well-known landscape architect M.D. Rodichkyn.

Dendroflora of Massandra park includes about 250 species: steep slopes are occupied with native trees and bushes with *Quercus pubescens*, Crimean black pine *Pinus nigra pallasiana*, *Carpinus orientalis*, *Pistacia mutica*, *Cornus mas*, *Rosa* sp. and others. Quantitative composition of tree stands is given in Table 1.

When planning the terrenkur itinerary we tried to include maximum of different landscape views and plant species along it way. The route included horizontal parts and ascents and descents with up to 20 degrees steepness. In the coniferous part of park the horizontal sand lane for jogging was included. All points where climatic measurements were taken were divided into three categories: "sunny" points that were open to the sun in all seasons, "shadow" that are surrounded by ever-green vegetation and thus are always in the shadow and "variable" or "seasonal" which are surrounded by deciduous trees, which are sunny only in winter when the trees lost their foliage. The microclimate measurements are presented by Table 3, demonstrating that sunny points are somehow warmer, dryer and much more insolated when compared to shadow points and variable points. The variable points are even less insolated in summer compared to shadow points due to more deep shadow provided by the broad-leaved plant species surrounding these points. As it is demonstrated by Table 4, the differences between sunny, shadow and variable points in the terrenkur are less pronounced in the autumn compared to summer; sunny points are still being more warm but also more windy. In the winter, as stated by Table 5 the sunny points are still the most insolated but the shadow points and variable points are significantly more windy compared to sunny points. In the spring as it is demonstrated by Table 6 insolation of all points is higher than in winter, winds in parks become less pronounced despite still more strong in the shadow parts of the terrenkur. To conclude the most significant differences in microclimate between observation points were recorded in the summer and are due to different insolation; all other seasons the microclimate values are less variable and reflects difference in insolation and wind strength (especially in winter). The p-values for different microclimate variables show that most parameters differ statistically significant between four seasons. Microclimate parameters of

Massandra park were compared to data obtained by Nikita State Botanic Garden meteorostation located at altitude of 200 meters above sea level at absolutely open place for the sun and winds. Strength of winds in all seasons is less in the park compared to meteorostation and the insolation, including the UV part of spectrum, is also less in park compared to the meteorostation. In general, the differences are due to trees of the park that form the warmer, more humid and less windy climate in the park compared to the open places. These data confirm the high value of Massandra park as the natural complex with high therapeutic and kurort potential.

**Keywords:** Massandra park, microclimate, insolation, vegetation, role in rehabilitation, kurort potential.

#### References

1. Gorokhov V. A. *The green nature of towns. In 2 volumes*, 528 (Architecture, Moscow, 2012).
2. Gerasimchuk V. N., Kharchenko A. L., History of introduction of evergreen angiosperm plants in the Nikita Botanical garden, *Proceedings of International scientific conference devoted to 200th anniversary of Nikita Botanical Garden "Dendrology, flower cultivation and garden and park building"*, 5–8 June 2012, 28 (Yalta, 2012).
3. Rubtsov L. I. *Garden and park landscape*, 212 (Academy of Science Edition, Kiev, 1956).
4. Vazhov V. I., Agroclimatic regions of Crimea, *Proceedings of Nikita Botanical Garden*, **71**, 92 (1977).
5. *Agroclimatic handbook of the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005 yy.)*, 343 (Tavrida, Simferopol, 2011).
6. Galushko R. V., Kuznetsova V. M., Ezhov M. V., *Arborescent plants with beautiful fruits and leaves in decorative gardening*, 40 (Agrarian Science, Kiev, 2005).
7. Maksimov A. P., Slizik-Maslova L. N., Park dendroassortiment of the Sebastopol region (Crimea), *Materials of International Scientific conference "Old parks and botanical gardens – scientific centers for conservation of plant biodiversity and preservation of historical and cultural heritage"*, 233 (Uman, 2011).
8. Potapenko I. L. Arborescent plants of the aborigin flora in green building of the eastern subregion of Crimean Southern Coast, *Ecosystems, their optimization and preservation*, **2**, 30 (2010).
9. *Key to higher plants of Crimea*. Ed. by Rubtsov N. I., 550 (Leningrad, 1972).
10. Chepik F. A. *Key to trees and bushes*, 232 (Moscow, 1985).

**УДК 581.524.1/582.661(477.75)**

## **АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА *HALIMIONE VERRUCIFERA* (M.BIEB.) AELLEN**

*Ганусяк А. П., Симагина Н. О.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: golden-1392@mail.ru*

Выявлены аллелопатические свойства *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen. Установлено ингибирующее влияние водных экстрактов из надземных и подземных органов многолетника *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen на однолетник *Suaeda prostrate* Pall. Определен аллелопатический порог чувствительности тест-объекта *Suaeda prostrate* Pall., соответствующий 1 % концентрации водного экстракта органов *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen. При увеличении концентраций аллелопатически активных веществ *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen отмечено снижение показателей всхожести семян, длины проростков и биомассы тест-объекта *Suaeda prostrate* Pall. Установлено, что наибольшая аллелопатическая активность при 10 % концентрации водного экстракта свойственна водорастворимым веществам, содержащимся в листьях, а наименьшая – в стеблях *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen.

**Ключевые слова:** аллелопатия, *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen, *Suaeda prostrate* Pall.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Перспективным направлением исследований мировых растительных ресурсов является оценка средообразующей функции галофитов. Галофиты являются высокоспециализированной группой высших растений, выработавшей в процессе эволюции механизмы устойчивости к специфическим абиотическим факторам экотопа. Произрастание галофитной растительности определено как абиотическими, так и биотическими факторами. Проявляясь на всех уровнях организации живой материи, аллелопатические связи оказывают влияние на сбалансированность процессов в биосфере и жизнь биогеоценозов. Определенный аллелопатический режим, создаваемый растительными выделениями, является неотъемлемой частью фитоценоза. Наряду с другими факторами они выполняют существенную экологическую роль в формировании сообществ, т. к. выступают как активный регулятор видового состава и ценотической структуры в целом [1]. Исследование межвидовых взаимодействий позволяет решить теоретические и практические аспекты современной биологической науки [2].

Ранее проводимые исследования были посвящены установлению механизмов конкуренции галофитной растительности [3–5], а также изучению аллелопатических аспектов комплекса межвидовых взаимодействий на солончаках умеренного климата [6]. Однако вопросы, касающиеся биохимической природы

аллелопатических свойств представителей рода *Halimione*, остаются неизученными, что обуславливает актуальность проводимых научных исследований.

Целью данного исследования являлось изучение аллелопатических свойств *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen. В задачи исследования входили: оценка аллелопатической активности водных экстрактов листьев, корней, стеблей, соцветий *H. verrucifera*; определение всхожести семян и длины проростков *S. prostrate* при влиянии водных экстрактов *H. verrucifera*; установление степени ингибирования тест-объекта *S. prostrate* аллелопатически активными веществами *H. verrucifera*.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования – *H. verrucifera* – многолетнее растение (донор аллелопатических веществ); *S. prostrate* – однолетнее растение (акцептор аллелопатических веществ (тест-объект)). Материал для исследования отбирался в вегетационный период 2016 г. в западном Крыму в прибрежной зоне между двумя солеными озерами: Ярылгач и Джарылгач (с. Межводное, Черноморский район). Лабораторные исследования проводили на базе Таврической академии (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Для определения аллелопатических свойств *H. verrucifera* была проведена серия биотестов, в которых определялась аллелопатическая активность листьев, корней, стеблей, соцветий. Аллелопатическое влияние *H. verrucifera* оценивалось по влиянию водных экстрактов различных концентраций 1 %, 5 %, 10 % на всхожесть семян и рост проростков тест-объекта *S. prostrate*. В конце вегетационного периода была собрана зеленая масса *H. verrucifera*, высушена до воздушно-сухого состояния, и использована для получения водных экстрактов. Приготовление экстрактов физиологически активных веществ проводили по методике А. М. Гродзинского [7].

Семена тест-объекта проращивались в чашках Петри на ложе из фильтровальной бумаги при температуре 23<sup>0</sup>С в количестве 10 семян при увлажнении водными экстрактами *H. verrucifera* при пяти вариантах условий: увлажнение водным экстрактом из листьев; увлажнение водным экстрактом из корней; увлажнение водным экстрактом из стеблей; увлажнение водным экстрактом из соцветий; увлажнение дистиллированной водой (контроль).

Повторность опытов трехкратная. Определение всхожести семян и измерение длины проростков проводили в течение 10 суток по общепринятым методикам. Полученные результаты обрабатывались стандартными методами математической статистики [8].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования влияния водных экстрактов *H. verrucifera* различных концентраций на прорастание семян и рост проростков была отмечена различная аллелопатическая толерантность у тест-объекта *S. prostrate*. Определив всхожесть

семян тест-объекта *S. prostrate* в опытных и контрольных вариантах, возможно заключить, что экстракты из различных органов *H. verrucifera* оказывают как ингибирующее, так и стимулирующее действие на определенных этапах прорастания семян и роста проростков *S. prostrate* (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Динамика роста проростков *Suaeda prostrate* Pall. при увлажнении водными экстрактами *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen разных концентраций.

День эксперимента/ Экстракт из	Длина проростков, см			
	Концентрация экстракта			
	контроль	1%	5%	10%
<b>листьев</b>				
3-й	2,7±0,3	2,9±0,3	1,0±0,2	-
6-й	4,5±0,1	4,6±0,2	2,4±0,3	-
8-й	4,7±0,1	4,8±0,3	2,5±0,3	-
10-й	4,9±0,2	5,0±0,3	2,6±0,3	-
Масса, мг	3,6±0,4	4,8±0,3	3,0±0,2	-
<b>корней</b>				
3-й	1,4±0,1	1,2±0,1	0,6±0,1	0,6±0,1
6-й	4,5±0,2	3,9±0,2	1,4±0,1	1,5±0,1
8-й	4,9±0,1	4,0±0,2	2,2±0,1	2,1±0,1
10-й	5,4±0,1	4,4±0,2	2,6±0,1	2,4±0,1
Масса, мг	5,8±0,2	4,8±0,2	3,2±0,1	3,4±0,1
<b>стеблей</b>				
3-й	1,7±0,2	2,6±0,3	1,8±0,2	0,8±0,1
6-й	4,6±0,2	5,0±0,2	4,1±0,3	2,7±0,2
8-й	4,6±0,2	5,1±0,2	4,5±0,3	3,5±0,2
10-й	5,2±0,1	5,3±0,2	4,4±0,3	3,6±0,2
Масса, мг	5,5±0,2	5,6±0,2	4,4±0,4	4,0±0,2
<b>соцветий</b>				
3-й	3,2±0,4	2,2±0,2	1,4±0,2	0,6±0,1
6-й	4,3±0,2	2,9±0,1	2,0±0,1	0,7±0,1
8-й	4,1±0,2	3,0±0,1	2,5±0,1	1,0±0,1
10-й	4,2±0,2	3,9±0,2	3,3±0,1	1,4±0,1
Масса, мг	4,1±0,1	4,0±0,2	3,8±0,2	3,5±0,1

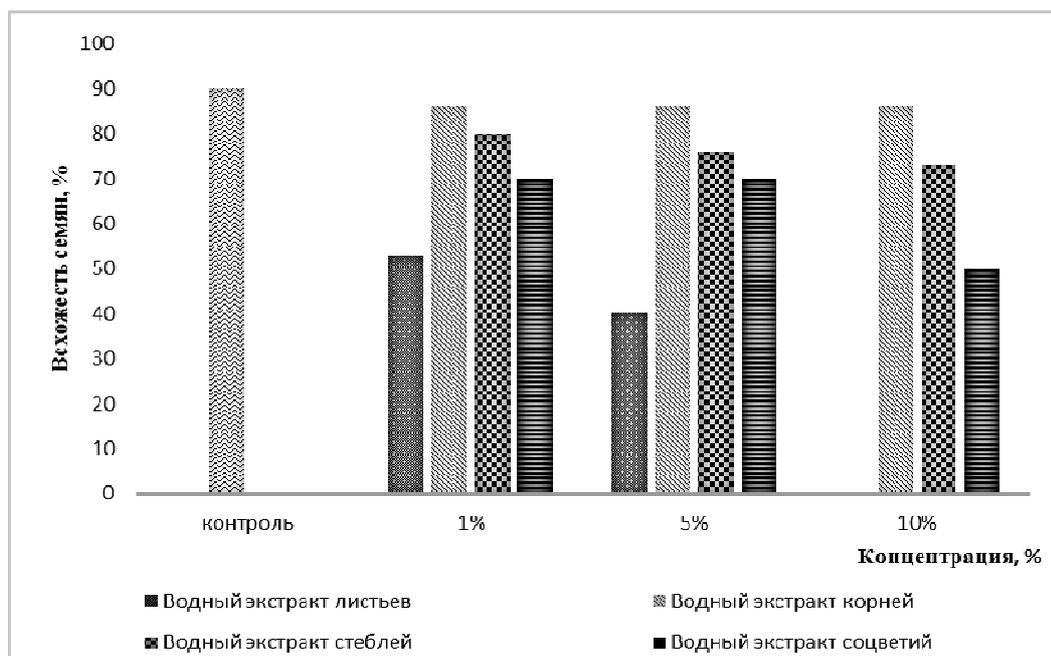


Рис.1. Влияние аллелопатически активных веществ органов *Halimione verrucifera* (M. Vieb.) Aellen разных концентраций на всхожесть семян *Suaeda prostrate* Pall.

В ходе эксперимента установлено, что при увлажнении 1 % водным экстрактом из листьев *H. verrucifera* стимулировалась как всхожесть семян *S. prostrate*, так и рост проростков тест-объекта. С увеличением концентрации до 5 % происходило ингибирование прорастания семян тест-объекта, показатели длины проростков *S. prostrate* при этом составили  $2,6 \pm 0,3$  (см), что на 46 % ниже, чем в контроле. Под воздействием высоких концентраций 10 % водного экстракта из листьев у семян тест-объекта *S. prostrate* установлено отсутствие всхожести, что свидетельствует о сильном ингибирующем эффекте аллелопатически активных веществ *H. verrucifera*.

При снижении концентраций аллелопатически активных веществ *H. verrucifera* отмечено увеличение показателей всхожести семян и длины проростков тест-объекта *S. prostrate* (табл. 1, рис. 1). Эта тенденция свидетельствует о непосредственном влиянии количества действующих физиологически активных веществ *H. verrucifera* на степень ингибирования роста проростков семян тест-объекта, что согласуется с данными литературы [9].

В ходе исследования установлен аллелопатический порог чувствительности тест-объекта *S. prostrate* – минимальная концентрация (1 % водный экстракт) физиологически активных веществ *H. verrucifera*, выше которой начинается угнетение прорастания семян и роста проростков растения-акцептора *S. prostrate* [2]. Всхожесть семян тест-объекта при увлажнении водными экстрактами

*H. verrucifera* 1 % концентрации из листьев составила 51 %, из корней – 82 %, из стеблей – 76 %, из соцветий – 64 %, что на 8–39 % ниже, чем в контроле.

Полученные данные воздействия аллелопатически активных водорастворимых веществ 1 % концентрации из стеблей *H. verrucifera* также свидетельствуют о стимулирующем воздействии на рост проростков тест-объекта. Показатели длины проростков *S. prostrate* в течение эксперимента при увлажнении 1 % водным экстрактом из стеблей *H. verrucifera* были на 1,8 % выше, чем в контроле. Итоговые показатели длины проростков *S. prostrate* на 10 день эксперимента составили  $5,3 \pm 0,2$  (см), а в контроле  $5,2 \pm 0,1$  (см). При анализе всхожести семян при увлажнении водным экстрактом *H. verrucifera* из стеблей установлено снижение показателей всхожести семян *S. prostrate* при увлажнении экстрактом 1 % концентрации на 11 %, при 5 % концентрации на 15 %, при 10 % концентрации на 18 % по сравнению с контролем соответственно.

При аллелопатических взаимодействиях важнейшую роль играют вещества, входящие в состав корневых выделений [7]. Водные экстракты из корней *H. verrucifera* оказывают ингибирующее действие на тест-объект. Всхожесть семян *S. prostrate* в контроле составила 90 %, тогда как при увлажнении водным экстрактом *H. verrucifera* концентрации 1 %, 5 % и 10 % наблюдались одинаковые показатели прорастания семян – 86 %. Наиболее ингибирующее действие на рост проростков тест-объекта оказывают аллелопатически активные вещества водного экстракта *H. verrucifera* 10 % концентрации, при этом длина проростков *S. prostrate* составляет  $2,4 \pm 0,1$  (см), что на 55 % меньше, чем в контроле.

При воздействии водных экстрактов из соцветий *H. verrucifera* на прорастание семян тест-объекта наблюдалась аналогичная тенденция увеличения показателей длины проростков *S. prostrate* при снижении концентрации аллелопатически активных веществ *H. verrucifera* от  $1,4 \pm 0,1$  (см) (10 % концентрация) до  $3,9 \pm 0,2$  (см) (1 % концентрация). В данной серии биотестов при увлажнении водными экстрактами *H. verrucifera* минимальная всхожесть семян *S. prostrate* составила 50 % (10 % концентрации), максимальная – 70 % при увлажнении водным экстрактом 1 % концентрации, что на 20 % меньше, чем в контроле.

Аллелопатически активные вещества, содержащиеся в водных экстрактах *H. verrucifera*, оказывают ингибирующее влияние на формирование биомассы проростков (табл. 1). При сравнении влияния экстрактов различных органов *H. verrucifera* установлены минимальные показатели биомассы проростков тест-объекта *S. prostrate* при увлажнении водным экстрактом соцветий *H. verrucifera* концентрации 1 %  $4,0 \pm 0,2$  мг и максимальные  $5,6 \pm 0,2$  мг – при увлажнении водным экстрактом стеблей *H. verrucifera*. При увеличении концентраций аллелопатически активных веществ *H. verrucifera* отмечено снижение показателей биомассы проростков тест-объекта *S. prostrate*.

Таким образом, водный экстракт *H. verrucifera* ингибирует прорастание семян и первоначальный рост проростков тест-объектов даже в небольших концентрациях (1 %), выбранных для исследований. Данный факт дает основания предполагать, что *H. verrucifera* принадлежит к видам-эдификаторам, средообразующее действие которых в значительной степени определяет структуру фитоценоза. Изучение

взаимоотношений растений друг с другом при совместном произрастании является одним из важнейших вопросов фитоценологии и биоценологии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что водные экстракты из различных органов *H. verrucifera* оказывают ингибирующее действие на прорастание семян и рост проростков *S. Prostrate*, снижая показатели всхожести на 42 % при максимальной концентрации экстракта (10 %) по сравнению с контрольными показателями.
2. Определено, что водные экстракты *H. verrucifera* 1 % концентрации оказывают не только ингибирующее, но и стимулирующее воздействие на прорастание семян тест-объекта.
3. Выявлено, что при снижении концентраций аллелопатически активных веществ *H. verrucifera* отмечено увеличение показателей всхожести семян, длины проростков и биомассы тест-объекта *S. prostrate*.
4. Установлено, что наибольшая аллелопатическая активность при 10 % концентрации водного экстракта свойственна водорастворимым веществам, содержащимся в листьях *H. verrucifera*, а наименьшая – в стеблях.

### Список литературы

1. Гродзинский А. М. Аллелопатия растений и почвоутомление / А. М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1991. – 430 с.
2. Симагина Н. О. Аллелопатические взаимодействия в сообществах галофитов Крыма / Н. О. Симагина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2001. – Т. 14, № 1. – С. 203–206.
3. Котов С. Ф. Анализ межвидовых взаимодействий в сообществах ассоциации *Halimionetum (pedunculatae) salicorniosum* / С. Ф. Котов // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2004. – Т. 17 (56), № 1. – С. 137–142.
4. Котов С. Ф. Аллелопатическое влияние многолетних видов растений на однолетние суккулентные виды в сообществах галофитной растительности Крыма / С. Ф. Котов, Н. О. Симагина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2005. – Т. 18 (57), № 2. – С. 50–55.
5. Котов С. Ф. Влияние влажности, засоления, конкуренции и аллелопатических взаимодействий между растениями на жизненность и рост сведы в галофитных сообществах Крыма / С. Ф. Котов, С. Н. Жалдак, Н. О. Симагина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия – 2006. – Т. 19 (58), № 1. – С. 57–67.
6. Шамсутдинов Н. З. Мировые растительные ресурсы галофитов и проблемы их многоцелевого использования в сельском хозяйстве / Н. З. Шамсутдинов, З. Ш. Шамсутдинов // Сельскохозяйственная биология. Серия биология растений. – 1998. – № 1. – С. 3–17.
7. Иванов В. П. Растительные выделения и их значение в жизни фитоценозов / В. П. Иванов. – М.: Наука, 1973. – 293 с.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
9. Гродзинский А. М. Экспериментальная аллелопатия / А. М. Гродзинский, Г. П. Богдан, Э. А. Головки. – Киев: Наукова думка, 1987. – 226 с.

ALLELOPATHIC ACTIVITY OF  
*HALIMIONE VERRUCIFERA* (M. BIEB.) AELLEN

Ganusyak A. P., Simagina N. O.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia  
E-mail: golden-1392@mail.ru

The formation and existence of plant communities are based on interspecific interactions, one of the forms of which is allelopathy. Allelopathy is a cycle of physiologically active substances in phytocenosis, which play the role of regulator of internal and external relationships. Allelopathic activity of a particular species is determined by a certain set of different nature chemicals. It is known that the allelopathic activity of many plants is quite high. In the process of growth and development they release biological inhibitors through the root system into the soil, which can substantially inhibit neighboring plants. This work is devoted to the study of the allelopathic effect of water-soluble extracts from the aqueous extract of *Halimione verrucifera* (M. Bieb.) Aellen on the *Suaeda prostrata* Pall. test object. The high inhibitory activity of the aquatic extract of *H. verrucifera* on germination of seeds and the initial growth of seedlings of test objects was revealed.

The laboratory experiment was performed to determine the effect of water extracts *H. verrucifera*, in concentrations of 1 %, 5 %, 10 % and moistened with distilled water (control) for laboratory germination of *S. prostrata* seeds. The seeds of the test object germinated in Petri dishes, at a temperature of 23°C in an amount of 10 seeds by moistened with aqueous extracts.

In the majority cases, the seed germination of *S. prostrata* has decreased in comparison with the control. Under the action of the was extract *H. verrucifera*: 72 % (1 % concentration), 68 % (5 % concentration) and 52 % (10 % concentration), respectively at 90 % in the control. Germination of *S. prostrata* seeds at the concentration of 1 % is close to the control value. Complete suppression of germination was revealed in variants with the extract of 10 % extracts concentration from the leaves. Number of germinated seeds *S. prostrata* at the influence of 10 % concentration of *H. verrucifera* extracts is an average 42 % less than in the control. Seedling of the test object under the action of 10 % concentration extract from the roots reached length  $2,4 \pm 0,1$  cm, under the action of the extract from the inflorescences –  $1,4 \pm 0,1$  cm, and the stems –  $3,6 \pm 0,2$  cm. The highest lengths of seedlings of the test object at a high concentration (10 %) were noted when exposed to water extracts from the stems.

As a result of the action of the aqueous *H. verrucifera* extract (1 % concentration) from leaves and stems, the stimulating effect on the length of the seedlings were observed. The length of seedlings in this case was  $4,9 \pm 0,2$  cm in the control, and under the action of aqueous leaves extract  $5,0 \pm 0,3$  cm, the effect on the length of seedlings moistened with the extract from the stems was  $5,3 \pm 0,2$  cm, in the control  $5,2 \pm 0,1$  cm.

As a result of the study, it can be concluded that aquatic extracts from aboveground and underground parts of *H. verrucifera* had inhibitory and stimulating effect on germination and growth of seedlings *S. prostrata*.

**Keywords:** allelopathy, *Halimione verrucifera* (M. Bieb.), *Suaeda prostrata* Pall.

### References

1. Grodzinsky A.M., *Allelopathy of plants and soil fatigue*, 430 (Naukova Dumka, Kiev, 1991).
2. Simagina N.O., *Allelopathic interactions in the Halophyte communities of the Crimea*, Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Biology, Chemistry, **14**, 1, 203 (2001).
3. Kotov S. F. *Analysis of interspecific interactions in community association Halimionetum (pedunculatae) salicorniosum*, Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Biology, Chemistry, **17** (56), 1, 137 (2004).
4. Kotov S. F., Simagina N. O. *The influence of perennial plants on annual succulent species in halophyte vegetation communities in the Crimea*, Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Biology, Chemistry, **18** (57), 2, 50 (2005).
5. Kotov S. F., Zhaldak S. N. and Simagina N. O., *The Influence of humidity, salinity, competition, and of interactions between plants on the vitality and growth Suaeda in halophytic communities of the Crimea*, Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Biology, Chemistry, **19** (58), 1, 57 (2006).
6. Shamsutdinov N. Z., Shamsutdinov Z. S., *World plant resources of halophytes and problems of their multipurpose use in agriculture*, Agricultural Biology. A series of plant biology, **1**, 3 (1998).
7. Ivanov V. P. *Plant extracts and their significance in the life of phytocenoses*, 293 (Science, Moscow, 1973).
8. Lakin G. F., *Biometrics*, 293 (Higher School, Moscow, 1990).
9. Grodzinsky A. M., Bogdan G. P., Golovko E. A., *Experimental allelopathy*, 226 (Naukova Dumka, Kiev, 1987).

**УДК 574.24**

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИЙНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ШЕННОНА К АНАЛИЗУ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ДВУХ ГРУПП УЧЕНИКОВ ЧЕТВЕРТЫХ КЛАССОВ**

*Громенко В. М.<sup>1</sup>, Фаттахов Ф. Т.<sup>2</sup>, Трунова И. В.<sup>1</sup>, Ивашов А. В.<sup>1</sup>, Фаттахов А. Ф.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup>*Крымский инженерно-педагогический университет, Симферополь, Республика Крым, Россия*

*E-mail: aivashov@mail.ru*

Апробирована возможность применения информационно-энтропийного подхода для анализа уровня физической подготовки учеников четвертых классов. В сравнительном аспекте проанализированы итоговые оценки выполнения нормативов по балльной системе и с применением энтропийного показателя как меры неопределенности результатов. Установлены определенные взаимосвязи и различия между двумя подходами. Сделаны выводы о применении энтропийного анализа как эффективной дополнительной меры учета физической подготовки учеников. Полученные результаты могут служить для тренера или учителя ориентиром по устранению неопределенности спортивных результатов группы с целью увеличения вероятности достижения наивысших показателей.

**Ключевые слова:** группы учеников, физические упражнения, баллы, энтропия.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Общеизвестно, что живые организмы относятся к открытым термодинамическим системам, обменивающимся с окружающей средой веществом, энергией и информацией. В термодинамике, изучающей законы превращения энергии из одного вида в другой, одной из важнейших характеристик системы является понятие энтропии.

В научной литературе термин «энтропия» как физическая величина отражающая меру необратимого рассеяния энергии, впервые появился в 1865 году; в 1872 году термин приобрел статистический смысл и стал трактоваться в общем виде как численная мера зависимости макросостояния системы от числа ее микросостояний, описываемых через взаимодействия элементов системы между собой [1]. С 1948 года термин «энтропия» стал центральным понятием теории информации и определился как мера количества информации, возможность выбора или неопределенность [2]. Таким образом, понятие энтропии приобрело достаточное смысловое содержание и сегодня широко применяется во многих научных дисциплинах, включая биологию [3–5].

С биологической точки зрения энтропия – это термодинамический показатель, характеризующий состояние живого объекта в результате потери энергии в виде

тепла при произведенной работе [6]. Для школьников, например, такой работой на уроках физкультуры являются физические упражнения, оценочные результаты которых являются опосредованным отражением энтропийных процессов. С этой точки зрения энтропия тесно взаимосвязана со спортивными результатами и отражает уровень тренированности и работоспособности [7, 8]. С другой стороны, в численных значениях энтропии присутствует элемент неопределенности результатов в силу того, что состояние каждого ученика (его физическое развитие) как стохастической системы зависит от многих индивидуальных особенностей: физиолого-анатомических, уровня физического воспитания, состояния здоровья, влияния факторов окружающей среды и т. д. [9, 10]. В этой связи спортивные результаты как отдельных учеников, так и целого класса носят стохастический, вероятностный характер.

Таким образом, в настоящее время, применение энтропии в области спортивно-педагогических исследований является перспективным направлением и имеет теоретическое и практическое значение для оценки результатов в сфере образования и физической культуры [11–14]. В связи с тем, что, несмотря на очевидную научно-практическую значимость, это направление в настоящее время еще недостаточно используется и требует дальнейших углубленных исследований, целью данного исследования явилось применение энтропийного анализа для выяснения закономерностей в формировании физической подготовленности учащихся четвертых классов в условиях обычной средней школы. При этом авторы поставили перед собой задачу максимально доступно донести до читателя возможности энтропийного анализа с тем, чтобы любой исследователь, не имеющий специальной математической подготовки, смог понять, как можно, набрав исходные данные, обработать их, получить энтропийные показатели и, интерпретировав их, сделать выводы о состоянии системы.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Объектом исследования были группы учеников 4А и 4Б классов муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения Симферопольского района Республики Крым «Денисовская школа» в количестве 20 человек. Исследования проводили с сентября 2015 по май 2016 г. на занятиях по физкультуре, которые проходили в первой половине дня в спортивном зале или на открытом воздухе, в разные времена года и, соответственно, в разных экологических условиях. Форма проведения – выполнение нормативов для определения уровня физической подготовки детей по четырем видам упражнений: прыжки в длину с места, прыжки со скакалкой, поднятие туловища в положении лежа на спине, подтягивание в висе на перекладине. Все виды упражнений дети выполняли в соответствии с общепринятыми нормами. Оценивание уровня физической подготовленности учащихся проводили с учетом установленных контрольных нормативов отдельно для мальчиков и девочек. При этом абсолютные значения измерений в сантиметрах или в числе выполненных упражнений переводили в баллы, которые отражали следующие уровни подготовки: высокий – 5, достаточный – 4, средний – 3 и низкий – 2. Значит, каждый ученик как

биологическая система характеризовалась по каждому виду упражнений четырьмя состояниями. С другой стороны, каждый ученик являлся элементом в системе более высокого уровня – группе. Таким образом, конечные результаты оценки энтропии были отнесены к группам учеников из двух младших классов.

В общей сложности в течение учебного года в двух четвертых классах по четырем упражнениям было проведено 720 замеров физической подготовленности учащихся (20 учеников × 4 вида упражнений × 9 месяцев = 720).

Вместе с этим для выяснения вопроса о том, изменяется ли состояние систем (двух групп учеников), оцениваемых по результатам физических упражнений в разные сезоны, исследования проводили с сентября по май. Хорошо известно, что в эти сезоны ученики и, соответственно, группы учеников как биологические системы подвергались действию изменяющихся экологических факторов, в первую очередь, таких как температура, влажность воздуха, атмосферное давление. Таким образом, замеры физической подготовленности выделенных групп учеников, так же, как и замеры погодных факторов, осуществляли один раз в месяц. Однако в настоящей статье энтропийный анализ с учетом экологических факторов опущен, он будет дан в последующей публикации.

Таким образом, общий план исследования может быть кратко охарактеризован следующим образом.

1. Объектами исследования явились 2 биосистемы (две группы учеников четвертых классов).

2. Элементы системы – ученики (каждый ученик является также системой, но более низкого уровня интеграции).

3. Состояние учеников как систем описывалось в баллах, полученных за выполнение физических упражнений (как средние значения показателя за 3 подхода).

4. Состояние групп учеников описывалось в частотах (долях) встречаемости того или иного балла. По ним рассчитывались первичные значения частных энтропий по каждому баллу.

5. Путем суммирования частных значений энтропии по каждому баллу вычисляли обобщенный показатель энтропии, характеризующий группу учеников в целом по всем баллам.

6. Зная значения общих энтропий для двух групп и имея расчетные теоретически минимальные и максимальные значения (интервал) энтропий, обсуждали подготовленность двух групп учеников по каждому виду упражнений.

При этом, если значения обобщенных энтропийных коэффициентов приближались к нулю, это указывало на очень низкую неопределенность в уровне подготовки. Такое положение наблюдается тогда, когда у всех учеников в группе наблюдались почти одинаковые баллы. В противоположном варианте нестабильность результатов в группе указывала на большую неопределенность их состояния как системы.

Многозначность интерпретации как самой энтропии, так и смыслового содержания тех или иных символов в энтропийном анализе, на наш взгляд, требует достаточно подробного разъяснения самого понятия и его природы как явления

применительно к данному исследованию. Это, как нам кажется, поможет читателю лучше понять то, как были получены данные и как они обрабатывались.

Энтропию ( $H$ ), или меру неопределенности результатов, определяли по известной формуле Шеннона (1963) как сумму вероятностей состояний системы (событий при испытании), умноженных на двоичные логарифмы вероятностей этих состояний, взятую с обратным знаком.

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

где  $p_i$  – частота или доля конкретного  $i$ -го состояния, вычисленного по формуле:

$$p_i = f/n, \quad (2)$$

где  $f$  – число событий (учеников), выполнивших норматив с конкретным результатом (баллом),  $n$  – общее число испытаний (общее количество учеников в группе, сдававших норматив).

Например, в группе 4А класса за учебный год по прыжкам с места ученики распределились следующим образом: с высоким уровнем (5 баллов) – 0 человек, с достаточным (4 балла) – 9, со средним (3 балла) – 2, с низким (2 балла) – 1. Дальнейшие расчеты произведены по известному алгоритму [15], и их результаты можно видеть в таблице 1.

**Таблица 1**  
**Пример расчета общей энтропии по прыжкам с места в группе учеников 4А класса (n=12) за учебный год**

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				Всего состояний $g=4$
	Высокий (5) $i=1$	Достаточный (4) $i=2$	Средний (3) $i=3$	Низкий (2) $i=4$	
$f$	0	9	2	1	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0	0,75	0,167	0,083	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0	0,311	0,434	0,291	$\Sigma \mathcal{E} = H = 1,036$

*Примечание:*  $\mathcal{E}$  – частная энтропия,  $\Sigma \mathcal{E}$  – общая, или информационная, энтропия по Плохинскому [15], или  $H$  в обозначении К. Э. Шеннона [2], интерпретируемая как текущая неопределенность,  $i$  – порядковый номер вариантов.

Заметим: все логарифмы дробей от нуля до единицы по основанию 2 ( $\log_2 p_i$ ) дают значения с отрицательным знаком. С учетом этой особенности К. Э. Шенон специально ввел знак «минус» перед выражением  $\mathcal{E}$ . Соответственно, умножая минус на минус, всегда получаем положительное значение общей энтропии.

Для преподавателей, оценивающих достижения учеников, часто очень важным является не абсолютное численное значение показателя и его балльная оценка, а прирост его за определенный тренировочный период. В этом случае  $f$  может интерпретироваться не как доля учеников с данным баллом, а как средняя величина прироста спортивного показателя за конкретный сезон года, найденная для всей группы учеников. Чтобы найти долю прироста результата, необходимо найти

частное от деления прироста за данный сезон на прирост за весь период испытаний, т. е. за все сезоны или за весь учебный год. Например, в группе 4Б класса по прыжкам с места прирост результатов за весь учебный год составил в среднем 14,8 см, а доля прироста по сезонам года составила: за осенний период 5,3 см (доля – 0,358), за зимний – 0,7 см (доля – 0,047), за весенний – 8,8 см (доля – 0,594). Полученные таким образом доли ( $p_1, p_2, p_3$ ) уже могут использоваться для дальнейших вычислений по приведенной выше формуле общей энтропии или в ином содержательном аспекте – текущей неопределенности. Итоги этих вычислений можно видеть в таблице 2.

Таблица 2

Пример расчета общей энтропии прироста спортивных показателей группы учеников 4Б класса ( $n = 8$ ) по прыжкам с места по сезонам года

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)			Всего состояний $g = 3$
	Осень $i = 1$	Зима $i = 2$	Весна $i = 3$	
$f$ (прирост в см)	5,3	0,7	8,8	$\Sigma f = 14,8$
$p_i = f/\Sigma f$	0,358	0,047	0,594	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0,530	0,208	0,446	$\Sigma \mathcal{E} = H = 1,184$

Примечание: здесь  $f$  не частота (целое число), а натуральное число – результат измерений и вычислений средних арифметических, могущий иметь дробную часть (в данном примере это разница среднеарифметических между конечным и начальным значениями показателя, т. е. прирост в сантиметрах от первого до последнего месяца сезона).

Таким образом, в этих двух случаях, несмотря на разную интерпретацию  $f$ , получаем единую шкалу измерений  $p_i$  (от 0 до 1) и вычисляем коэффициент  $\Sigma \mathcal{E} = H$ , который трактуется как общая энтропия, или мера текущей неопределенности состояния системы (группы учеников), по конкретному виду упражнения.

Энтропия определена, но возникает одновременно вопрос, с чем теперь ее соизмерять. При этом у читателя возникает закономерный вопрос, в каких пределах может колебаться энтропия, или текущая неопределенность. Иными словами, интересен интервал  $H_{min} - H_{max}$ . В этой связи остановимся на двух аспектах.

Начнем с минимального значения. Оно достигается тогда, когда при проведении всех испытаний наблюдается только один из всех возможных вариантов. Такое состояние системы демонстрируют показательные расчеты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

**Пример расчета минимальной энтропии в гипотетической группе учеников по прыжкам с места за учебный год**

Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				Всего состояний $g = 4$
	Высокий (5) $i = 1$	Достаточный (4) $i = 2$	Средний (3) $i = 3$	Низкий (2) $i = 4$	
$f$	0	12	0	0	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0	1	0	0	$\Sigma p_i = 1$
$\mathcal{E} = p_i \log_2 p_i$	0	0	0	0	$\Sigma \mathcal{E} = H = 0$

Таким образом, табличные данные, составленные для некой гипотетической группы учеников, наглядно подтверждают расчет минимального значения, которое находится по приведенной ниже формуле:  $H_{min} = \log_2 1 = 0$ .

Соответственно, в этом случае состояние системы не имеет неопределенности, т. е. ответ однозначен: все ученики после проведенных испытаний оказались с достаточным уровнем подготовленности. Все они получили по 4 балла, значит, все элементы системы находятся в одном и том же состоянии и состояние группы как системы характеризуется отсутствием неопределенности.

Теперь о максимальном значении. Максимальная неопределенность ( $H_{max}$ ) зависит от числа состояний системы (количества классов или вариантов) и вычисляется по формуле:

$$H_{max} = \log_2 n, \quad (3)$$

где  $n$  – число состояний системы по Эшби. По Плохинскому, это число классов или вариант, и обозначается оно буквой  $g$ . Поскольку букву  $n$  выше применяли для обозначения общего числа измерений (испытаний), в данном случае с тем чтобы избежать неясностей, используем букву  $g$ , и, таким образом, основная формула для нахождения максимального значения имеет вид:

$$H_{max} = \log_2 g. \quad (4)$$

Ниже на конкретном примере покажем, что оно достигается при условии равенства частот всех вариантов.

Так, в приведенной выше таблице 1, где использована балльная оценка,  $g$  соответствует четырем, а в примере с сезонной оценкой (табл. 2) – трем. Соответственно, в приведенных выше примерах максимальная неопределенность при  $g = 4$  определяется как  $H_{max} = \log_2 4 = 2$  (два в квадрате равно четырем), при  $g = 3$  вычисленное значение, естественно, меньше, т. к. чтобы получить значение 3, надо 2 возвести в степень 1,585 ( $H_{max} = \log_2 3 = 1,585$ ).

Теперь напомним, что эти максимальные значения достигаются при условии полной выравненности или равномерного распределения частот по вариантам. Например, если бы в группе 4А класса за учебный год по прыжкам с места наблюдалось равномерное распределение частот учеников по четырем уровням подготовки, то тогда и достигалось бы максимальное значение энтропии, или

неопределенности, что можно видеть на примере вычислений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

**Пример расчета максимальной энтропии в гипотетической группе учеников по прыжкам с места за учебный год (случай равномерного распределения частот вариантов)**

W Расчетные показатели	Варианты (состояния системы)				$g = 4$ $H_{max} = \log_2 4 = 2$
	высокий	достаточный	средний	низкий	
$f$	3	3	3	3	$\Sigma f = 12$
$p_i = f/\Sigma f$	0,25	0,25	0,25	0,25	$\Sigma p_i = 1$
$\Theta$	0,5	0,5	0,5	0,5	$\Sigma \Theta = H = 2$

*Примечание:* для  $p=0,25$ , пользуясь формулой,  $\Theta = -0,25 \log_2 0,25 = 0,5$  (двоичный логарифм  $0,25 = -2$ ), тогда  $-0,25 \times -2 = 0,5$ .

Эти расчеты показывают, в каком интервале потенциально может находиться значение энтропии при четырех классах (вариантах), т. е. при  $g = 4$ . Если возвратиться к данным таблицы 1, то в ней текущая неопределенность состояния группы учеников 4А класса по прыжкам с места за учебный год находится в пределах  $0 < 1,036 < 2$ , а неопределенность прироста спортивных показателей группы учеников 4Б класса по прыжкам с места по трем сезонам года (при  $g = 3$ ) – в пределах  $0 < 1,184 < 1,585$ .

Таким образом, чем ближе значение текущей неопределенности к нулю, тем меньше неопределенность системы в целом, и наоборот, чем ближе значение текущей неопределенности к максимальной, тем больше неопределенность системы в целом.

Подведем некоторый итог касательно свойств энтропии как характеристики степени неопределенности. Во-первых, она обращается в нуль, когда наблюдается только одно из состояний системы, а другие – отсутствуют. Во-вторых, при определенном числе состояний она имеет максимальное значение, причем тогда, когда эти состояния равновероятны.

Следует отметить и еще одно свойство: при увеличении числа состояний максимальное значение энтропии увеличивается. Покажем это положение на примере такой простейшей системы, как игральная кость. Напомним читателю, игральные кости – это кубики, на каждой грани которых представлены цифры или точки от 1 до 6. При любом подбрасывании она может упасть в шести вариантах (событиях), значит  $g = 6$ . При большом числе испытаний каждый вариант выпадет с частотой близкой к 0,1666. При этом достигается максимальная энтропия, (максимальная неопределенность результата), которая находится при  $g = 6$  как  $H_{max} = \log_2 6 = 2,585$ .

Если представить себе, что мы некоторые грани сделали большей площади, чем другие, состояние системы станет более определенным, т. к. при испытаниях чаще будет выпадать грань с наибольшей площадью. Мысленно пойдём дальше: если сплющим кубик до двух граней (аналог монеты), то максимальное значение энтропии станет всего лишь равным единице, т. к.  $H_{max} = \log_2 2 = 1$

Таким образом, с помощью энтропийного коэффициента можно сравнивать состояние систем совершенно разной природы и категории. Что касается кубика и монеты, то в данном примере максимальная неопределенность состояния такой системы, как кубик, гораздо выше, чем, например, монеты.

Энтропии разных независимых состояний системы по совершенно разным критериям системы можно складывать и получать общую энтропию (свойство аддитивности). Например, если подготовка группы учащихся шла не один учебный год, а два, то можно сравнить энтропии за эти два года по отдельности, а затем путем сложения можно оценить общую энтропию за два года тренировок. А если параллельно сделать замеры успеваемости по тому или иному предмету, то будет иметься возможность оценить определенность состояний по спортивным результатам и по учебе.

Эти примеры показывают чрезвычайную универсальность информационного критерия применительно к оценке состояния любых систем. Однако это не исключает, а только дополняет традиционно получаемые критерии уровня подготовки. Например, после года тренировок группа 4А класса достигла максимального значения определенности, и все ученики получили по 5 баллов в подтягиваниях на перекладине, а в группе учеников 4Б класса все получили по 4 балла. Энтропийные коэффициенты в обеих группах достигают нулевых значений (полная определенность состояний), а уровень подготовленности при этом разный: в первой группе он выше, чем во второй.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В таблице 4 представлены итоговые результаты испытаний уровня физической подготовленности двух групп учащихся по четырем видам упражнений с использованием четырехбалльной шкалы и результаты вычислений энтропии как меры неопределенности состояния групп учеников. Следует напомнить, что интервал возможных значений энтропии при  $g = 4$  лежит в пределах от 0 до 2.

Анализ результатов по балльной системе, представленных в таблице 4 выявил сходство уровня физической подготовки по двум классам. По прыжкам в длину наибольшая доля учеников приходится на достаточный (4 балла) уровень физической подготовки, по прыжкам со скакалкой – на средний (3 балла), по поднятию туловища – на высокий (5 баллов), по подтягиванию в висе – низкий (2 балла). Такое совпадение результатов в разных спортивных категориях испытаний отображает одинаковый общий уровень физического развития учеников разных классов.

Таблица 4

Уровень физической подготовки двух групп учеников четвертых классов за учебный год по четырем видам упражнений в балльной оценке и оценка их состояния с использованием коэффициента К. Э. Шенона

Контрольные нормативы	Клас сы	Доля учеников, заработавших баллы				Энтропия (коэффи- циент К. Э. Шенона)
		Высокий 5 баллов	Достаточ- ный 4 балла	Сред- ний 3 балла	Низ- кий 2 балла	
Прыжки в длину с места	4А	0	0,75	0,167	0,083	1,04
	4Б	0	0,571	0,49	0	0,98
Прыжки со скакалкой за 1 минуту	4А	0,333	0,25	0,417	0	1,55
	4Б	0,286	0,286	0,429	0	1,56
Поднятие туловища за 1 минуту из положения лежа	4А	0,667	0,167	0	0,167	1,25
	4Б	0,857	0	0,143	0	0,59
Подтягивание в висе на перекладине	4А	0	0,083	0	0,917	0,41
	4Б	0	0,286	0	0,714	0,86

Анализ результатов по энтропийно-информационному показателю показал, что по прыжкам в длину с места в 4 Б классе энтропийный показатель меньше, чем в 4 А. При этом учащиеся 4 Б класса группируются в две оценочные категории (достаточную и среднюю), а 4 А – в три. С позиций теории информации это значит, что 4 Б класс из четырех максимально возможных оценочных категорий, характеризуется минимальным числом состояний. Следовательно, уровень физического развития учеников по этой спортивной категории у 4 Б класса одинаковый, характеризуется меньшей неопределенностью и, соответственно, большей степенью вероятности прогнозирования результатов тестирования. По прыжкам со скакалкой у двух классов энтропийные показатели практически одинаковы, одинаково также распределение по оценочным категориям. Следовательно, физические возможности для выполнения этого спортивного испытания у двух классов сходны. По поднятию туловища энтропийные показатели показывают такую же тенденцию, как по прыжкам в длину. А вот для подтягивания в висе на перекладине энтропийный коэффициент для 4 А меньше, и подавляющее количество учеников концентрируется в оценочной категории «низкий», что говорит о слабых индивидуальных способностях по этому виду спортивных испытаний. Таким образом, в отличие от балльной системы оценивания, низкие или высокие коэффициенты энтропии не показывают степень плохой или хорошей физической подготовленности, а показывают уровень дифференциации учеников по

степени физического развития и упорядоченности их распределения по оценочным категориям. При этом чем больше ученики сходны по своим физическим возможностям в той или иной спортивной категории, тем меньше энтропийный коэффициент, выступающий мерой неопределенности результатов спортивных испытаний.

Известно, что изменение климатических факторов в течение сезонов года наиболее сильно отражаются на школьниках младших классов [16]. Изучение зависимости среднего прироста показателей физической подготовленности по трем сезонам года – весна, осень, зима – на примере 4 А и Б классов выявило следующие закономерности (табл. 5).

**Таблица 5**  
**Изменение среднего прироста спортивных показателей по трем сезонам года: осень, зима, весна**

Виды упражнений	Классы	Осень	Зима	Весна	Общий прирост
Прыжки с места (см)	4а	4,3/ 34,1	0	8,3/ 65,9	12,6
	4б	5,3/ 35,8	0,7/ 4,7	8,8/ 59,5	14,8
Поднятие туловища (за 1 мин.)	4а	4,7/ 31,7	1,6/ 10,8	8,5/ 57,5	14,8
	4б	5/ 34,5	1/ 6,9	8,5/ 58,6	14,5
Прыжки со скакалкой (за 1 мин.)	4а	13,8/ 36,4	4,6/ 12,1	19,5/ 51,5	37,9
	4б	12,8/ 35,3	7,3/ 20,2	16,1/ 44,5	36,2
Подтягивание (за 1 мин.)	4а	1,3/ 37,1	0	2,2/ 62,9	3,5
	4б	1,3/ 30	0,4/ 9,1	2,7/ 61,3	4,4
В целом в %		34,4	8	57,7	100

Из данных таблицы видно, что в целом за осенний период прирост составил 34,4 % при размахе 30–37,1 %. За зимний сезон – 8 % при размахе 0–20,2 %. За весенний – 57,7 % при размахе 44,5–65,9 %. Наибольший прирост для обоих классов по всем видам упражнений приходится на весенний сезон, наименьший – на зимний. Наибольшим размахом прироста (21,4 %) характеризуются весенние месяцы, наименьшим (7,1 %) – осенние.

Высокий прирост показателей в весеннее время связан в первую очередь с возрастными изменениями школьников. В зимний сезон прирост результатов ограничивают пониженные температуры воздуха в спортивном зале и на улице, уменьшающие скорость и силу сокращения мышц [17].

Анализ результатов по энтропийно-информационным коэффициентам выявил следующие закономерности (табл. 6).

Таблица 6

**Посезонные изменения среднего прироста энтропии по спортивным показателям в двух группах учеников**

Виды упражнений	Классы	Осень	Зима	Весна	Суммарная энтропия
		Энтропия			
Прыжки с места	4а	0,529	0	0,397	0,926
	4б	0,530	0,208	0,446	1,184
Поднятие туловища	4а	0,525	0,347	0,459	1,331
	4б	0,529	0,266	0,452	1,247
Прыжки со скакалкой	4а	0,531	0,369	0,493	1,393
	4б	0,530	0,466	0,520	1,516
Подтягивание	4а	0,531	0	0,421	0,952
	4б	0,520	0,314	0,432	1,266

Нетренированные летом дети пришли в классы осенью и за этот период показали очень близкие значения энтропии, что свидетельствует об изначально выровненном состоянии групп учеников, причем неопределенность в этот период года достигала наибольших значений. Зимой не наблюдалось какого-либо прироста результатов по двум видам упражнений в группе 4 А класса, что видно и без вычисления этого показателя (прирост минимальный), но уже весной энтропия снова возросла, что, по-видимому, связано с увеличением длительности солнечного освещения, повышением температуры и т. п. Итоговые результаты состояния систем демонстрируют гораздо большую определенность результатов в группе 4 А класса. Интересно, что итоговая величина энтропии (неопределенности) в 4Б классе по прыжкам со скакалкой едва не достигла своего максимума (при  $g = 3$  ( $H_{max} = \log_2 3 = 1,585$ )). В целом, из таблицы видно, что энтропия прироста показателей в разной степени варьирует в зависимости от времени года. Так, в упражнениях по прыжкам с места и подтягивании в 4А классе при минимальной суммарной энтропии (0,926 и 0,952) показатели энтропийного прироста неравномерно распределены по двум сезонам (осень и весна). По остальным видам упражнений распределение энтропии уже по трем сезонам года имеет более равномерное или равновероятное распределение, достигая максимума в упражнениях по прыжкам со скакалкой в 4 Б классе – (1,516). При этом в теории информации существует закономерность, утверждающая, что при равновероятных событиях распределение характеризуется большей неопределенностью, чем в случае при разновременных событиях [2]. Кроме того, выявлено: чем стабильнее окружающие условия при замере нормативов, тем ровнее энтропия результатов. Так, например, при осенних замерах результатов температура воздуха на улице колебалась от плюс 19 до 23 градусов, при этом энтропия незначительно колебалась в районе (0,5) для обоих классов и по всем видам физических упражнений. При зимних замерах колебание температуры на улице составляло от плюс 3 до минус 8 градусов, а весенних – от плюс 8 до 19,

соответственно, и колебание энтропии зимой было выше, чем весной. Такая же зависимость распределения энтропии во время замеров характерна для влажности воздуха и для атмосферного давления. Таким образом, на данном примере еще раз подтверждается точка зрения, согласно которой ключ к пониманию процессов самоорганизации групп учеников и их наставников находится в исследовании взаимодействия открытых систем с окружающей средой [16].

К сожалению, не представляется возможным сопоставить полученные результаты анализа с другими данными не только потому, что нет аналогичных работ по применению энтропийного коэффициента, но и в силу отсутствия исследований по влиянию сезонного аспекта на подготовленность учеников младших классов. И это несмотря на то, что практически во всех исследованиях, проводимых со школьниками, указывается прирост использованных показателей от начала учебного года (сентябрь) к концу (май). Тем не менее основные обобщения, которые можно сделать в результате выполненной работы, можно изложить в виде нижеследующих выводов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Применение энтропийного анализа результатов дополнило наши представления, полученные с использованием традиционных методов, и помогло лучше осмыслить результаты физической подготовленности учеников четвертых классов. При этом значения энтропийного коэффициента помогут сориентировать тренера или учителя на устранение неопределенности состояния группы с целью увеличения вероятности достижения целевых показателей.
2. Учет сезонного аспекта времени года в подготовке учеников четвертых классов дает возможность корректировать подготовку в течение года с планированием повышенных нагрузок в осенний период и поддержание формы в зимний.
3. Использование энтропийного коэффициента как показателя выровненности в подготовленности команды к групповым соревнованиям может быть полезным для оценки готовности команды к соревнованиям как по одиночным видам, так и по комплексу упражнений.
4. Учет случайной составляющей, или неопределенности, спортивных результатов поможет оптимизировать и улучшить организацию учебного процесса по физической подготовленности и воспитанию учащихся.
5. Универсальность формулы Шеннона и ее отвлеченность от семантических и качественных, индивидуальных свойств системы позволяет использовать ее для анализа сколь угодно сложных систем на разных уровнях обобщения: от подготовки отдельных учеников-лидеров до групп, команд школы, республики, страны и т. п. Ее применение является эффективным дополнением к традиционным статистическим показателям, используемым для оценки подготовленности как школьников, так и спортсменов.

## Список литературы

1. Соколова И. С. Энтропийно-вероятностное моделирование сложных стохастических систем: дисс. ... канд. физ-мат. наук: 05.13.18 / Соколова И. С. – Челябинск, 2013. – 134 с.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1963. – 830 с.
3. Осипов А. И. Энтропия и ее роль в науке / А. И. Осипов, А. В. Уваров // Сетевой образовательный журнал. – 2004. – Т. 8. – № 1. – С. 70–79.
4. Блюменфельд Л. А. Информация, термодинамика и конструкция биологических систем / Л. А. Блюменфельд // Сетевой образовательный журнал. – 1996. – № 7. – С. 88–92.
5. Вечканов Е. М. Термодинамика и кинетика биологических процессов: учеб-метод. пособ. для вузов / Е. М. Вечканов, В. В. Внуков. – Ростов н/Д: ЮФУ, 2010. – 59 с.
6. Опритов В. А. Энтропия биосистем / В. А. Опритов // Сетевой образовательный журнал. – 1999. – № 6. – С. 33–38.
7. Немиров А. Д. Информативность параметров variability сердечного ритма у спортсменов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Д. Немиров. – Ярославль, 2004. – 23 с.
8. Викулов А. Д. Физиологические механизмы адаптации организма младших школьников в условиях режима повышенной двигательной активности / А. Д. Викулов, В. Н. Сулейманов, С. Ю. Турчанинов // Ярославский педагогический вестник. – 2005. – № 3. – С. 84–87.
9. Геращенко И. Г. О принципе неопределенности в спортивной педагогике / И. Г. Геращенко, А. И. Шамардин, Ю. А. Зубарев, А. А. Кудинов // Теория и практика физической культуры. – 1998. – № 9. – С. 2–6.
10. Сапцин В. М. Принцип неопределенности и проблема измеримости в спортивной педагогике и соревнованиях / В. М. Сапцин, А. Т. Циповяз // Физическое воспитание студентов. – 2009. – № 3. – С. 95–99.
11. Хакимова Е. Г. Инновации в образовательной среде с использованием информационной энтропии / Е. Г. Хакимова, М. К. Герасимов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 305–307.
12. Любивая Т. Г. Энтропийный подход в оценке эффективности управления в сфере образовательных услуг / Т. Г. Любивая // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. – 2014. – № 2 (28). – С. 116–118.
13. Головницкая Г. Е. Принцип энтропии в образовательном процессе / Г. Е. Головницкая // Профессиональная культура специалиста: методологические, идеологические, психолого-педагогические аспекты формирования: мат-лы Междунар. науч-практ. конф. – Барановичи: БарГУ, 2005. – С. 22–25.
14. Малахов С. В. Энтропия в обучении движениям: детерминизм, эвентуальность, интенции / С. В. Малахов // Научное обоснование физического воспитания, спортивной тренировки и подготовки кадров по физической культуре, спорту и туризму: мат-лы XIV Междунар. науч. сессии. – Минск: БГУФК, 2016. – Ч. 1. – С. 400–403.
15. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии / Н. А. Плохинский. – М.: Изд. МГУ, 1980. – 150 с.
16. Комилев И. О. Организация физического воспитания учащихся младших классов общеобразовательных школ с учетом климатических сезонов календарного года: автореф. дисс. ... канд. пед. наук / И. О. Комлев. – Краснодар, 2008. – 24 с.
17. Уилмор Дж. Х. Физиология спорта / Дж. Х. Уилмор, Д. Л. Костил [пер. с англ. под ред. А. Яценко]. – К.: Олимпийская литература, 2005. – 504 с.

## EXPERIENCE OF APPLICATION OF ENTROPY COEFFICIENT OF THE SHANNON TO THE ANALYSIS OF PHYSICAL FITNESS OF TWO GROUPS OF FOURTH GRADE STUDENTS

Gromenko V. M.<sup>1</sup>, Fattakhov F. T.<sup>2</sup>, Trunova I. V.<sup>1</sup>, Ivashov A. V.<sup>1</sup>, Fattakhov A. F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

<sup>2</sup>Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia

E-mail: aivashov@mail.ru

The concept of information entropy is used in many scientific disciplines, including biology. The increase or decrease of information leads to a change in the uncertainty of the measurement results. In this regard, the use of entropy in the field of sports and pedagogical research is a promising direction and has great theoretical and practical importance. In this paper, the possibility of applying the information-entropy approach for analyzing the level of physical preparation of pupils of the fourth grades has been tested. In the comparative aspect, the final assessments of the performance of the norms for the ball system and with the use of the entropy index as measures of the uncertainty of the results are analyzed. Certain relationships and differences between the two approaches have been established. It is shown that, unlike the ball evaluation system, the entropy coefficients do not show the degree of poor or good physical readiness, but show the level of differentiation of pupils according to the level of physical development and the ordering of their distribution according to evaluation categories. In addition, patterns of seasonal changes in the increase in athletic performance and entropy in four types of exercises were revealed. It was noted that the greatest increase in indices for both classes, for all types of exercises, falls on the spring season, and the greatest uncertainty or entropy is in the autumn season. On the basis of this, conclusions were drawn on the application of entropy analysis as an effective additional measure of the physical preparation of pupils. The results obtained can serve as a guide for the coach or teacher in eliminating the uncertainty of the group's sports results in order to increase the probability of achieving the highest scores.

**Keywords:** a group of pupils, physical exercises, scores, entropy.

### References

1. Sokolova I. S. *Entropy-probabilistic modeling of complex stochastic systems*: Diss. kand. fiz-mat. sciences : 05.13.18, 134 p (Chelyabinsk, 2013).
2. Shannon C. *Works theory of information and cybernetics*, 830 (M.: Publishing house of foreign literature, 1963).
3. Osipov A. I., Uvarov A. V. Entropy and its role in science, *Network education journal*, **8**, 3, 70 (2004).
4. Blumenfeld L. A. Information, thermodynamics and design of biological systems, *Network education journal*, **7**, 88 (1996).
5. Vechkanov E. M., Vnukov V. V. *Thermodynamics and kinetics of biological processes*, 59 ( Rostov-on-Don: YFU, 2010).
6. Opritov V. A. Entropy of biological systems, *Network education journal*, **6**, 33 (1999).
7. Nemiroff A. D. *Informative parameters of heart rate variability in athletes* : Author. diss. on compet. scientific degree of kand. biol. sciences : 23 p (Yaroslavl, 2004).

8. Vikulov A. D. Suleimanov V. N., Turchaninov S. Y., Physiological mechanisms of adaptation of younger schoolboys in conditions of increased motor activity, *Yaroslavl pedagogical bulletin*, 3, 84 (2005).
9. Gerashchenko I. G., Shamardin A. I., Zubarev Y. A., Kudinov A. A. On the uncertainty principle in sport pedagogy, *Theory and practice of physical culture*, 9, 2 (1998).
10. Captin V. M., Tsepovyaz A. T. The uncertainty Principle and the problem of measurability in teaching sports and competition, *Physical education of students*, 3, 95 (2009).
11. Khakimova E. G. Gerasimov M. K., Innovation in the educational environment with the use of information entropy, *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, **17**, 1, 305 ( 2014).
12. Loving T. G. Entropy approach to the assessment of the effectiveness of management in the sphere of educational services Vector science TSU, *Series: Economy and management*, 2(28), 116 (2014).
13. Golovnitky G. E. The Principle of entropy in the educational process Professional culture of a specialist: methodological, ideological, psychological and pedagogical aspects of formation : *Mat-ly mezhdunar. nauch-prakt. conf.*, Baranovichi, 22 (2005).
14. Malakhov S. V., Entropy of the training movements: determinism, mentalnosti, intentions Scientific justification of physical education, sports training and training in physical culture, sport and tourism : *Mat-ly mezhdunar XIV. scientific. Session*, Minsk, 400 ( 2016).
15. Pluchinsky N. A. *Algorithms biometrics*, 150 (M. : Moscow state University, 1980).
16. Komlev I. O. *The organization of physical education students of Junior secondary schools, taking into account climatic seasons* : Author. diss. on compet. scientific degree of kand. ped. sciences: 24 p (Krasnodar, 2008).
17. Wilmore G. H., Kostil D. L. *Physiology of sport*, 504 (Kyiv : Olympic literature, 2005).

УДК 591.524.11: 574.472 (262.5)

**О ВЛИЯНИИ МАССЫ ТЕЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ  
НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ АНАДАРЫ – *ANADARA  
KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО  
БАССЕЙНА**

*Жаворонкова А. М., Золотницкий А. П., Сытник Н. А.*

*ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь,  
Республика Крым, Россия  
E-mail: ann4356@yandex.ua*

Исследована интенсивность дыхания двусторчатого моллюска – анадара (*Anadara kagoshimensis*), интродуцированной в Азово-Черноморский бассейн. Зависимость скорости потребления кислорода ( $R$ , мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$ ) от сухой массы тела ( $W$ , г) моллюсков описывалась степенной функцией. Изучены сезонные изменения интенсивности дыхания этого вида при различной температуре воды в интервале температуры 7–25 °С. Показано, что с повышением температуры скорость дыхания моллюсков возрастала, но максимальные значения (1,13 мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$ ) были зарегистрированы в преднерестовый период при температуре 20 °С. С возрастанием температурного режима значения коэффициентов регрессии ( $k$ ) характеризовались устойчивым отрицательным трендом. Рассчитаны температурные коэффициенты ( $Q_{10}$ ) в разные сезоны года, обнаружено, что повышенное значение  $Q_{10}$ , равное 4,17, обусловлено как влиянием температуры, так и репродуктивными процессами анадара.

**Ключевые слова:** анадара, интенсивность дыхания, температурный коэффициент, репродукция.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия в Азово-Черноморском бассейне появился ряд стихийных вселенцев (аутоакклиматизантов), которые могли бы быть перспективными объектами промысла и марикультуры. К ним можно отнести представителя семейства арковых (Arcidae) – анадара (*Anadara kagoshimensis*, Tokunaga, 1906 (син. *Anadara inaequalvis*, Bruguiere, 1798), которую в различных публикациях называют кровавой ракушкой, кунеаркой или скафаркой [1–4]. Этот вид характерен для побережья морей Юго-Восточной Азии и широко распространен в Индийском и Тихом океанах.

Появление этого вида в Азово-Черноморском бассейне связывают с переносом моллюска судами с балластной водой [1, 4]. В 80-х гг. этот вид стал встречаться в донных биоценозах Черного моря, сначала в прибрежных районах Болгарии, затем на шельфе Румынии [2, 5]. Позднее анадара обнаружили в Керченском проливе, а затем вид был зарегистрирован в Азовском море [6, 7]. Предельный возраст анадара в Азово-Черноморском бассейне составляет 9 лет. В Черном море этот вид вырастает до 80 мм, в Азовском – до 52–54 мм и массой до 46 г. Представители этого семейства встречаются на побережье Индии, Индонезии, Японии, Кореи, Малайзии и в других

странах. В ряде зарубежных стран (Китае, Японии, Малайзии, Таиланде) различные виды арковых широко используется в качестве объекта культивирования [8–10].

В результате интродукции анадары в Азово-Черноморском бассейне рядом исследователей получены важные данные о биологии и экологии этого вида [1–7, 11]. В то же время ряд вопросов, представляющих интерес для марикультуры моллюсков Черного моря, остался малоизученным или совсем не исследованным. В частности, при разработке биологических основ культивирования тех или иных гидробионтов необходимо проведение детальных эколого-физиологических исследований приспособительных реакций (адаптаций) водных организмов к различным факторам среды. Без этого невозможно достичь оптимизации условий для разных онтогенетических стадий и добиться максимальной реализации биологических функций того или иного вида [12].

Одним из таких вопросов является определение уровня энергетического баланса (бюджета) моллюсков, где важнейшей характеристикой метаболических процессов является скорость потребления кислорода [1, 5, 14]. Этот показатель является важнейшим компонентом энергетического баланса организма и отражает его расходную часть, указывая на изменения физиологического состояния под влиянием различных экологических факторов. Такие исследования на анадаре ранее не проводились, и они представляют несомненный интерес для биологии и экологии, а также для исследований марикультуры этого вида.

В задачу настоящей работы входило изучение влияния массы тела и температуры воды на интенсивность дыхания анадары в различные сезоны года.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили особи анадары, собранные в 2014–2016 гг. в Керченском проливе. Длина моллюсков варьировала в пределах 15–49 мм, живая масса (со створкой) изменялась от 1,26 до 39,6 г. Температура воды во время опытов изменялась незначительно – от  $7 \pm 0,5$  до  $25 \pm 0,5$  °C, соленость колебалась в незначительных пределах – 13,0–13,2 ‰.

Изучение скорости потребления кислорода моллюсками проводили методом замкнутых сосудов [13]. Перед опытом животных в течение двух суток выдерживали в лотке с проточной водой, затем переносили в респирометры с профильтрованной морской водой. После того, как моллюски открывали створки и начинали фильтровать воду, зондом брали пробу для определения начального содержания кислорода в воде. Затем респирометры закрывали и экспонировали в течение 3–4 часов. Объем сосудов варьировал от 1 до 5 л, в зависимости от количества животных в опыте. Во время опыта вода в респирометрах перемешивалась с помощью магнитной мешалки. Содержание начального и потребленного моллюсками кислорода определяли йодометрическим методом Винклера.

Количество потребленного кислорода ( $R$ , мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$ ) моллюсками определяли по уравнению:

$$R = \frac{(R_1 - R_2)}{n \cdot t} \cdot V,$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – исходное и конечное содержание кислорода в опытном респирометре соответственно,  $n$  – число животных в опыте,  $t$  – продолжительность опыта (час.),  $V$  – объем сосуда (л). Параллельно проводили контрольные опыты, в которых определяли изменение скорости потребления кислорода без моллюсков. После завершения опыта моллюсков подвергали биологическому анализу (определяли длину, высоту и выпуклость животного, а также общую массу, массу мягких тканей, раковины, пол моллюсков). Определение сухой массы проводили на мягких тканях моллюсков ( $W$ , г), которых высушивали в течение 3-х суток при температуре 65 °С, после чего находили этот показатель по эмпирическому уравнению:

$$W = 0,052 \cdot W_j - 0,047, r^2 = 0,92, \quad (1)$$

где  $W_j$  – общая (живая) масса моллюсков,  $r^2$  – коэффициент детерминации. Величину температурного коэффициента Вант-Гоффа ( $Q_{10}$ ) между двумя интервалами с разной температурой воды определяли по формуле [1]:

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(t_2-t_1)},$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – скорости потребления кислорода моллюсками при температуре  $t_1$  до  $t_2$ . Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли по общепринятым методам, а также с помощью компьютерной статистической программы «Statistica-10» и электронных таблиц «Excel».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение скорости потребления кислорода ( $R$ ) моллюсками в зависимости от сухой массы тела в разные сезоны года показало, что, как и у других видов двустворчатых моллюсков, эти показатели тесно связаны между собой, что хорошо аппроксимируется степенной функцией:

$$R = a \cdot W^k,$$

где  $R$  – скорость дыхания (мг  $O_2$  час<sup>-1</sup>·экз.<sup>-1</sup>);  $W$  – сухая масса мягких тканей тела моллюсков, (г);  $a$  – коэффициент пропорциональности, численно равный скорости потребления кислорода при  $W$ , равном 1 г;  $k$  – коэффициент регрессии, характеризующий удельную скорость дыхания анадары при изменении массы тела [13–15]. В двойной логарифмической системе координат эта зависимость выражается прямой линией с определенным углом наклона (рис. 1).

В численном виде указанная связь при 7 °С хорошо описывается степенной функцией:

$$R = 0,22 \cdot W^{0,81 \pm 0,068}. \quad (2)$$

Таким образом, с возрастанием массы тела скорость потребления кислорода устойчиво возрастает. Вместе с тем известно, что важнейшим фактором, влияющим на жизнедеятельность, является температура воды [14–16]. В этой связи нами исследованы сезонные изменения скорости дыхания анадары в интервале 7–25 °С.

В таблице 1 приведены данные по влиянию температуры на скорость дыхания анадары. Из нее видно, что наиболее низкая интенсивность дыхания, численно равная коэффициенту « $a$ », моллюсков зарегистрирована при 7 °С – 0,22 мг  $O_2$  час<sup>-1</sup> г<sup>-1</sup>. С повышением температуры воды наблюдалось устойчивое возрастание ее значений.

При 12 °С коэффициент пропорциональности составил 0,34, при 20 °С достиг 1,13, однако при дальнейшем повышении температуры до 25 °С уровень дыхания снизился до 0,86 мг O<sub>2</sub>·час<sup>-1</sup>·г<sup>-1</sup>. Располагая данными по дыханию, нетрудно перейти к уровню энергетического обмена моллюсков. По данным А. Ф. Алимова [13], 1 мг O<sub>2</sub> эквивалентен 14,2 Дж энергии, и, умножив эту величину на значение коэффициента «а», можно определить ориентировочные траты энергии на метаболизм данного вида.

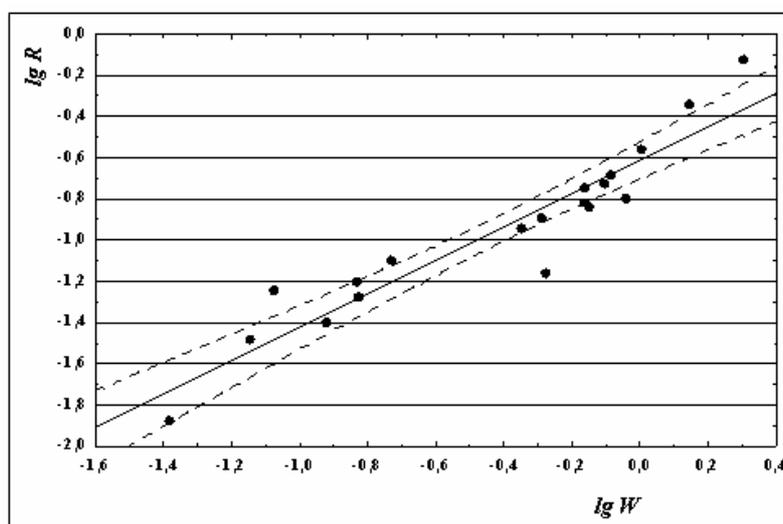


Рис. 1. Скорость дыхания анадары ( $R$ , мг O<sub>2</sub>·час<sup>-1</sup>·экз<sup>-1</sup>) в зависимости от сухой массы тела ( $W$ , г) в Керченском проливе ( $T = 7$  °С,  $S = 13,1$  ‰); (штриховые линии – 95 % доверительный интервал).

Таким образом, произведением этой величины и значения коэффициента «а» можно определить ориентировочные траты энергии на метаболизм данного вида.

Таблица 1

Зависимость скорости дыхания анадары ( $R$ , мг·O<sub>2</sub>·час<sup>-1</sup>·экз<sup>-1</sup>) в зависимости от сухой массы тела ( $W$ , г) в Керченском проливе ( $S = 13,0 - 13,2$  ‰)

Период работ ( $T$ , °С)	$N$	$W$	$a$	$S_a$	$k$	$S_k$	$r^2$
Ноябрь ( $7 \pm 0,5$ )	19	0,041-2,012	0,22	0,038	0,81	0,068	0,911
Апрель ( $12 \pm 0,5$ )	17	0,027-2,060	0,34	0,044	0,72	0,092	0,799
Май ( $20 \pm 0,5$ )	18	0,048-2,410	1,13	0,113	0,68	0,065	0,864
Июнь ( $25 \pm 0,5$ )	19	0,024-1,986	0,86	0,211	0,65	0,079	0,813

$N$  – число особей в опыте;  $W$  – пределы колебаний массы тела моллюсков;  $a$  и  $k$  – параметры уравнения;  $S_a$  – стандартная ошибка  $a$ ;  $S_k$  – стандартная ошибка  $k$ ;  $r^2$  – коэффициент детерминации.

Представляло интерес сопоставить полученные нами результаты с материалами других авторов. Однако, как отмечалось выше, литературные данные по дыханию этого вида отсутствуют, хотя для других видах рода *Anadara* такие данные имеются. Так, тайландские исследователи [17] нашли, что скорость потребления кислорода близкородственного вида – *Anadara granosa* – при температуре 28 °С и солености 30 ‰ описывалась уравнением:

$$R = 0,540 \cdot W^{0,604}, \quad (3)$$

где размерность R и W такая же, как и в наших опытах.

Другие авторы [18] на ином виде анадары (*Anadara sinilis*) получили более высокие данные. В частности, при температуре 25 °С и солености 32 ‰ скорость дыхания этого вида выражалась следующим уравнением:

$$R = 0,583 \cdot W^{1,02}, \quad (4)$$

где R выражалась в мл O<sub>2</sub>·час<sup>-1</sup>·экз<sup>-1</sup> (т. е. значение коэффициента пропорциональности увеличивается в 1,43 и составляет 0,83). Следует также отметить работу [19], где авторы на 2-х группах (мелкой, длиной 20,6 ± 0,85 мм и массой 4,41 ± 2,30 г) и крупной (34,58 ± 2,23 мм и 12,43 ± 0,44 г) этого вида моллюсков обнаружили, что с возрастанием температуры от 10 до 25 °С и солености с 20 до 40 ‰ отмечается устойчивый положительный тренд каждой из указанных переменных. Характерно, что интенсивность дыхания при начальных значениях температуры 10 °С и солености 20 ‰, в конце опыта возрастала: при 25 °С и 40 ‰ на 0,40–0,55 мг O<sub>2</sub>·час<sup>-1</sup>·г<sup>-1</sup>. Наиболее высокая интенсивность дыхания получена японскими учеными [20], где коэффициент пропорциональности (a) составлял 2,33. Таким образом, наши данные, за исключением последней работы, довольно близки с имеющимися литературными материалами.

Вместе с тем обращает на себя внимание заметное снижение коэффициента регрессии «k», значение которого заметно отличается от величины 0,73, определенной А. Ф. Алимовым [13] для морских двустворчатых моллюсков и 0,75, приведенной в сводке Хеммингсена [20] для всех пойкилотермных животных. Как известно, у эктотермов весьма часто наблюдается обратная зависимость между значениями коэффициентов «a» и «k», т. е. с возрастанием «a» происходит уменьшение коэффициента регрессии «k», и наоборот (правило Локера) [21].

На рис. 2 приведены изменения коэффициента регрессии (k) в уравнениях зависимости скорости потребления кислорода от температуры воды (T, °С) у этого вида моллюска. Указанная связь достаточно хорошо описывается обычным линейным уравнением:

$$k = 0,835 - 0,0075 \cdot T, r^2 = 0,747. \quad (5)$$

Снижение значений «k» с возрастанием температуры воды ранее было детально рассмотрено в монографиях В. Е. Заики [21] и И. В. Ивлевой [14] при сравнительном анализе энергетического обмена у различных видов кишечноротовых, ракообразных, моллюсков и шетинкочелюстных. Часто это связывают с малым диапазоном массы экспериментальных животных, продолжительностью акклимации, изменением температуры воды и другими не всегда учитываемыми факторами.

В наших опытах указанные факторы не могли оказать существенного влияния на величину коэффициента регрессии. Диапазон массы тела опытных животных был достаточно велик: минимальные и максимальные их значения различались между собой более чем в 30–50 раз.

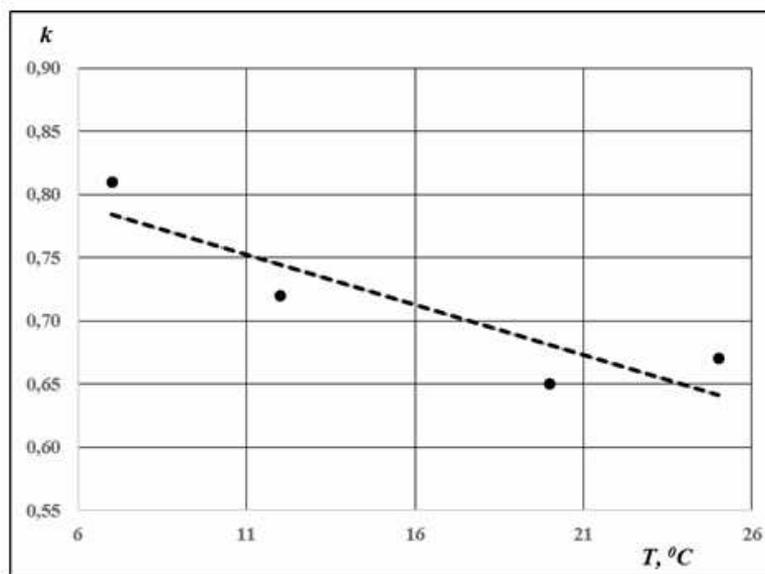


Рис. 2. Изменения коэффициента регрессии ( $k$ ) при различной температуре воды ( $T$ , °C) у анадары.

Малый срок акклимации моллюсков к экспериментальной температуре также не мог быть определяющим фактором: опыты с моллюсками проводили при температуре воды, соответствующей естественной среде обитания.

Поскольку опыты проводились при разных значениях температуры, коэффициенты пропорциональности и регрессии полученных уравнений были различны, что не допускает их строгого сравнения. Это возможно лишь при равенстве констант регрессии или по величине  $R/W$  у животных одинаковой массы [13, 15]. В настоящее время для сравнения интенсивности дыхания разных экспериментальных групп широко используется уравнение, предложенное Бейном и Ньюеллом [15]:

$$R_{st} = \left[ \frac{W_s}{W_e} \right]^k \cdot R_e$$

где  $R_e$  и  $W_e$  – экспериментальное значение скорости дыхания и массы тела,  $R_{st}$  и  $W_{st}$  – стандартизированное значение скорости дыхания и массы тела,  $k$  – коэффициент регрессии, связывающий скорость потребления кислорода с массой тела при данной температуре воды. В наших опытах стандартизированное значение массы тела ( $W_{st}$ ) было принято равным 1 г (в сухой массе тела).

На рис. 3 представлены стандартизированные значения интенсивности дыхания анадары ( $R/W$ , мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ) при различной температуре воды.

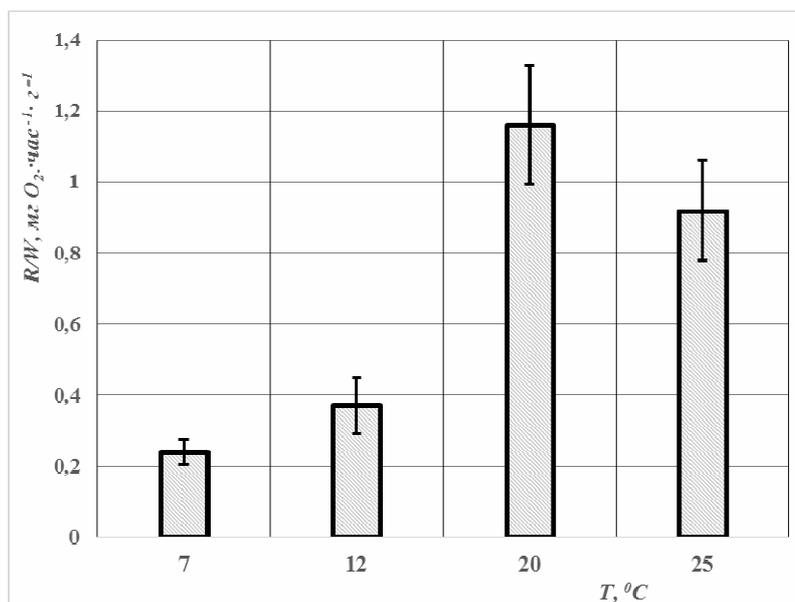


Рис. 3. Стандартизированные значения интенсивности дыхания ( $R/W$ , мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ) при различной температуре ( $T$ , °C) анадары; (вертикальные линии – 95 % доверительный интервал).

На нем видно, что с повышением температуры воды наблюдается возрастание интенсивности потребления кислорода, хотя имелись некоторые количественные различия. В этой связи нами рассчитан температурный коэффициент Ван-Гоффа ( $Q_{10}$ ). При возрастании температуры воды с 7 до 12 °C величина  $Q_{10}$  составляла 2,38, тогда как в интервале 12–20 °C значение резко возросло и достигло – 4,17. Однако при дальнейшем повышении температуры от 20 до 25 °C значение  $Q_{10}$  уменьшилось и составило 0,89.

В связи с этим особый интерес заслуживают данные о величине температурного коэффициента при температуре 20 °C. В это время значение  $Q_{10}$  резко увеличилось, хотя, по литературным данным, этот диапазон близок к оптимуму жизнедеятельности этого вида [3, 4, 16–19]. Если принять величину  $Q_{10}$  ту же, что и в интервале температуры 7–12 °C, то значение  $R/W$  при 20 °C должно быть близким к 0,6–0,7 мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ , тогда как в опыте он составил более чем в 1,5 раза большую величину – 1,16 мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ . По-видимому, резкое возрастание интенсивности дыхания (энергетического обмена) связано не только с повышением температуры воды в этот период, но и с особенностями биологии и экологии анадары. Это может быть обусловлено изменением относительного (аллометрического) роста моллюска на протяжении года: сезонными изменениями

массы мягкой ткани, раковины и мантийной жидкости, темпом роста и биохимическим составом, а также неодинаковой интенсивностью дыхания соматической и генеративной ткани. Мы полагаем, что именно последний фактор в значительной мере определяет значительно более высокий уровень дыхания.

Из литературных данных известно, что у многих видов моллюсков в преднерестовый период наблюдается чрезвычайно высокий уровень метаболических процессов. В частности, это отмечено у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) [22], у которой в период формирования половых клеток резко возрастают энергетические траты на обмен (особенно у самок), что связано с более интенсивным потреблением кислорода генеративной тканью по сравнению с соматической. В то же время в посленерестовый период, несмотря на возрастание температуры воды, интенсивность дыхания моллюсков снижается.

Аналогичный эффект наблюдается также у гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*) [23]. Авторами обнаружено два периода повышенной метаболической активности: на стадиях относительного покоя и в преднерестовой период, причем в первом случае это было связано с высокими температурами воды (18 °С), во втором – с репродуктивной активностью моллюсков, когда температура воды была около 5 °С. Здесь можно привести материалы и ряда других авторов о связи изменений скорости дыхания с репродуктивной активностью у пресноводных и морских моллюсков, которые частично были обобщены в монографии А. Ф. Алимова [13]. Что касается анадары, интродуцированной в Черное море, то этот вид начинает размножаться в летний период при температуре воды, близкой к 20 °С и выше [3–5]. Именно в это время в наших опытах зарегистрирован наиболее высокий уровень метаболизма, который в период нереста начинает снижаться.

Таким образом, резкое возрастание интенсивности дыхания при 20 °С с последующим ее снижением в нерестовый период мы связываем не только с температурой, но и с особенностями гаметогенеза моллюсков. Следовательно, кроме массы тела и температуры воды, важнейшую роль в уровне энергетического обмена анадары играют внутренние биологические ритмы, а именно процессы созревания и нереста, сложившиеся в ходе эволюции и связанные с условиями среды обитания.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследованы процессы дыхания анадары (*Anadara kagoshimensis*), интродуцированной в Черное море. Показано, что скорость потребления кислорода тесно связана с массой тела и описывается уравнением:  $R = a \cdot W^k$ .
2. Обнаружено, что с повышением температуры воды с 7 до 25 °С происходит устойчивое возрастание уровня потребления кислорода моллюсками (коэффициент «а») при одновременном снижении коэффициента регрессии (k).
3. На основе сравнительных данных по интенсивности дыхания ( $R/W$ , мг  $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ) анадары при разных температурах определены изменения  $Q_{10}$  в интервале температуры 7–25 °С, которые варьировали от 0,89 до 4,11.
4. Наиболее значительное возрастание интенсивности дыхания ( $R/W$ ) обнаружено в преднерестовый период (при 20 °С), что, вероятно, обусловлено

как изменением температуры воды, так и репродуктивной активностью анадары.

#### Список литературы

1. Золотарев В. Н. Двустворчатый моллюск *Cunearca cornea* – новый элемент фауны Черного моря / В. Н. Золотарев, П. Н. Золотарев // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 2. – С. 501–503.
2. Анистратенко В. В. Двустворчатый моллюск *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) в северной части Азовского моря: завершение колонизации Азово-Черноморского бассейна / В. В. Анистратенко, И. А. Халиман // Вест. зоологии. – 2006. – Т. 40, № 6. – С. 505–511.
3. Чикина М. В. Аспекты биологии размножения *Scapharca inaequalis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) в Черном море / М. В. Чикина, Г. А. Колочкина, Н. В. Кучерук // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 72–77.
4. Щербань С. А. Современное состояние эколого-биологических исследований двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), как перспективного объекта культивирования в Черном море / С. А. Щербань, Н. К. Ревков // VIII Всеросс. науч. конф. по промышленным беспозвоночным. Мат. докладов. – Калининград, 2–5 сентября 2015 г. Изд-во КГТУ, 2015. – С. 259–262.
5. Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии / Под ред. Г. Е. Шульмана, А. А. Солдатова; ИНБИОМ НАН Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 323 с.
6. Иванов Д. А. Аутоклиматизация промыслового моллюска *Cunearca cornea* в Керченском проливе / Д. А. Иванов // Биол. моря. – 1991. – № 5. – С. 95–98.
7. Фроленко Л. Н. Формирование биоценоза вселенца кунearки *Cunearca cornea* в Азовском море / Л. Н. Фроленко, О. В. Двинянинова // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна. – Ростов-на-Дону, 1998 – С. 115–118.
8. Culland C. A. The fish resources of the oceans / C. A. Culland // FAO Fish. Techn. Paper. – 1998. – № 97. – 425 p.
9. Sturmer L. N. The Potential of Blood Ark (*Anadara ovalis*) and Ponderous Ark (*Noetia ponderosa*) Aquaculture in Florida. Results of Spawning, Larval Rearing, Nursery, and Grow out Trials / L. N. Sturmer, J. M. Nuñez, R. L-R. Creswell, S. M. Baker / Sea grant. – 2009. – 76 p.
10. Yurimoto T. Spawning season and larval occurrence of blood cockle (*Anadara granosa*) off the Selangor coast, Peninsular Malaysia / T. Yurimoto, F. M. Kassim, A. Man, R. Fuseya // International J. Aquatic Biol. – 2014. – V. 2(6). – P. 299–304.
11. Sahin C. Seasonal Variations in Condition Index and Gonadal Development of the Introduced Blood Cockle *Anadara inaequalis* (Bruguiere, 1789) in the Southeastern Black Sea Coas / C. Sahin, E. Döğru, L. Okumut // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2006. – V. 6. – P. 155–163.
12. Гербильский Н. Л. Теория биологического прогресса вида и ее использование в рыбном хозяйстве / Н. Л. Гербильский // Теоретические основы рыбоводства. – М.: Пищ. пром-ть, 1972. – С. 101–111.
13. Алимов А. Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков / А. Ф. Алимов. – Л.: Наука. – 1981. – 248 с.
14. Ивлева И. В. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных / И. В. Ивлева. – К.: Наук. думка, 1981. – 232 с.
15. Bayne B. L. Physiological energetics of marine mollusks. The Mollusca / B. L. Bayne, R. C. Newell // In: Wilburg K. M., Saleuddin A. S. M. (Eds.). – Acad. Press-London. – 1983. – Vol. 4. – P. 407–515.
16. Kang K. H. Influence of Water Temperature and Salinity on Oxygen Consumption and Filtration Rate of Ark Shell, *Anadara granosa bisenensis* / K. H. Kang, J.-M. Kim, Y. H. Kim // Korean Journal of Malacology. – 2004. – V. 20, № 2. – P. 107–110.
17. Nabhitabhata J. Oxygen consumption of blood cockle, *Anadara granosa* Linn. / J. Nabhitabhata, Y. Soodmee, S. K. Rayong // J. Agris Since. – 2012. – V.3. – P. 37–41.

18. Djangmah J. S. Oxygen Consumption of the West African Blood Clam *Anadara senilis* / J. S. Djangmah, J. Davenport, S. E. Shumway // Mar. Biol. – 1980. – V. 56. – P. 213–217.
19. Food availability for particle-feeding bivalves, *Anadara* spp. in Fiji // A. E. S. Yousef, T. M. Buhadi, Kobari K. Kawai, T. Yamamoto, H. Suzuki, S. Nishimura, T. Tori and J. Veitayaki. – Pacific Science. – 2013. – V. 67, №. 4. – P. 1–27.
20. Hemmingsen A. H. Energy metabolisms related to body size and respiratory surfaces and its evolution / A. H. Hemmingsen // Rep. sten. Mem. Hosp. Nord. Insulin lab. – Copengagen, 1960. – V. 9, № 2. – P. 7–100.
21. Заика В. Е. Балансовая теория роста животных / В. Е. Заика. – К.: Наук. думка, 1985. – 252 с.
22. Брайко В. Д. Сезонные изменения в дыхании мидий / В. Д. Брайко, С. С. Дерешкевич // Экология моря. – 1978. – Вып. 44. – С. 31–36.
23. Седова Л. Г. Зависимость интенсивности обмена от репродуктивной активности морского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Joy) / Л. Г. Седова, Г. И. Викторовская // Известия ТИПРО. – 2000 – Т. 127. – С. 469–474.

**EFFECTS OF BODY WEIGHT AND WATER TEMPERATURE ON THE INTENSITY OF RESPIRATION OF BLOOD COCKLE - ANADARA KAGOSHIMENSIS (TOKUNAGA, 1906) THE AZOV-BLACK SEA BASIN**

*Zhavoronkova A. M., Zolotnitsky A. P., Sytnik N. A.*

*FSBEI HE "Kerch State Maritime Technological University", Kerch, Crimea, Russian Federation  
E-mail: ann4356@yandex.ua*

Respiration intensity of the bivalve blood cockle – *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) introduced in the Azov and Black Sea Basin is investigated. Mollusks of 15–49 mm long with the body weight (including the shell) ranging from 1,26 to 39,6 g were selected for the experiment. Water temperature during the studies varied within 7–25 °C, whereas salinity ranged insignificantly – from 13,0 to 13,2 ‰. The research results showed that the relation between the oxygen consumption rate ( $R$ ,  $\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ind.}^{-1}$ ) and lean body weight ( $W$ , g) of the mollusks can be described using the exponential function of the form:  $R = a \cdot W^k$ . Seasonal variations of the intensity rate of the studied mollusk were investigated under different water temperature values. With water temperature being 7 °C, the «a» coefficient value made up 0,22; with the water temperature increase up to 12 and 20 °C the molluscs respiration rate reached 0,34 and 1,13, correspondingly. However, with the water temperature equaling 25 °C its value reduced to 0,86  $\text{mg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ . In general, under conditions of the water temperature increase ( $T$ , °C) the regression coefficient value ( $k$ ) had a negative trend: its value made up 0,81, 0,72, 0,65 and 0,67, correspondingly. The revealed relationship can be approximated using a simple equation:  $k = 0,835 - 0,0075 \cdot T$ . The obtained data were transformed; standardized changes of the respiration intensity ( $R/W$ ) under different temperature modes were analyzed. Based on the results, temperature coefficients ( $Q_{10}$ ) during different seasons were estimated. It was found out that, with the temperature increase,  $Q_{10}$  values also increase; however, the highest  $Q_{10}$  value (4,17) was reported during the mollusks' pre-spawning period at 20 °C. The now available data can be

considered while discussing the impact of water temperature and reproduction processes on the energy exchange of blood cockle.

**Keywords:** blood cockle, respiration intensity, temperature coefficient, reproduction.

#### References

1. Zolotarev V. N., Zolotarev P. N. Dvustvorchatyy mollyusk *Cunearca cornea* – novyy element fauny Chernogo morya, *Dokl. AN SSSR*, **297**, 2, 501 (1987).
2. Anistratenko V. V., Khaliman I. A. Dvustvorchatyy mollyusk *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) v severnoy chasti Azovskogo morya: zaversheniye kolonizatsii Azovo-Chernomorskogo basseyna, *Vest. Zoologii*, **40**, 6, 505 (2006).
3. Chikina M. V., Kolyuchkina G. A., Kucheruk N. V. Aspekty biologii razmnozheniya *Scapharca inaequalis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) v Chernom more, *Ekologiya morya*, **64**, 72 (2003).
4. Shcherban' S. A., Revkov N. K. Sovremennoye sostoyaniye ekologo-biologicheskikh issledovaniy dvustvorchatogo mollyuska *Anadara kagosnimensis* (Tokunaga, 1906), kak perspektivnogo ob'yekta kul'tivirovaniya v Chornom more, *VSH Vseross. nauch. konf. po promyslovym bespozvonochnym. Mat. doklady*. – Kaliningrad, 2–5 sentyabrya 2015 g., 259 (Izdatel'stvo KGTU, 2015).
5. *Chernomorskiye mollyuski: elementy sravnitel'noy i ekologicheskoy biokhimi* / Pod red. G. Ye. Shul'mana, A. A. Soldatova; INBYUM NAN Ukrainy, 323 (Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2014).
6. Ivanov D. A. Autaklimatizatsiya promyslovogo mollyuska *Cunearca cornea* v Kerchenskom prolyve, *Biol. Morya*, **5**, 95 (1991).
7. Frolenko L. N., Dvinyaninova O. V. Formirovaniye biotsenoza vselemtsa kunearki *Cunearca cornea* v Azovskom more, *Osnovnyye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoyemov Azovskogo basseyna*, 118 (Rostov-na-Donu, 1998).
8. Culland C. A. The fish resources of the oceans, *FAO Fish. Techn. Paper.*, **97**, 425 (1998).
9. Sturmer L. N., Nuñez J. M., Creswell R. L-R., Baker S. M. The Potential of Blood Ark (*Anadara ovalis*) and Ponderous Ark (*Noetia ponderosa*) Aquaculture in Florida. Results of Spawning, Larval Rearing, Nursery, and Grow out Trials, *Sea grant.*, 76 (2009).
10. Yurimoto T., Kassim F. M., Man A., Fuseya R. Spawning season and larval occurrence of blood cockle (*Anadara granosa*) off the Selangor coast, Peninsular Malaysia, *International J. Aquatic Biol.*, **2(6)**, 299 (2014).
11. Sahin C., Dönmez E., Okumut L. Seasonal Variations in Condition Index and Gonadal Development of the Introduced Blood Cockle *Anadara inaequalis* (Bruguière, 1789) in the Southeastern Black Sea Coas, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **6**, 155 (2006).
12. Gerbil'skiy N. L. Teoriya biologicheskogo progressa vida i yeye ispol'zovaniye v rybnom khozyaystve, *Teoreticheskiye osnovy rybovodstva*, 101 (M.: Pishch. prom-t', 1972).
13. Alimov A. F. *Funktsional'naya ekologiya presnovodnykh dvustvorchatykh mollyuskov*, 248 (L.: Nauka, 1981).
14. Ivleva I. V. *Temperatura sredy i skorost' energeticheskogo obmena u vodnykh zhitotnym*, 232 (K.: Nauk. dumka, 1981).
15. Bayne B. L., Newell R. C. *Physiological energetics of marine mollusks*. The Mollusca, In: Wilburg, K. M., Saleuddin, A.S.M. (Eds.), **4**, 407 (Acad. Press-London, 1983).
16. Kang K. H., Kim J.-M., Kim Y. H. Influence of Water Temperature and Salinity on Oxygen Consumption and Filtration Rate of Ark Shell, *Anadara granosa bisenensis*, *Korean Journal of Malacology*, **20**, 2, 107 (2004).
17. Nabhitabhata J., Soodmee Y., Rayong S. K. Oxygen consumption of blood cockle, *Anadara granosa* Linn., *J. Agris Since.*, **3**, 37 (2012).
18. Djangmah J. S. Davenport J., Shumway S. E. Oxygen Consumption of the West African Blood Clam *Anadara senilis*, *Mar. Biol.*, **56**, 213 (1980).
19. Yousef A. E. S., Buhadi T. M., Kawai K. Kobari, Yamamoto T., Suzuki H., Nishimura S., Tori T. and Veitayaki J., Food availability for particle-feeding bivalves, *Anadara* spp. in Fiji, *Pacific Science.*, **67**, 4, 1 (2013).

20. Hemmingsen A. H. Energy metabolismas related to body size and respiratory surfaces and its evolution, *Rep. sten. Mem. Hosp. Nord. Insulin lab.*, 9, 2, 7 (Copenhagen, 1960).
21. Заика В. Ye. *Balansovaya teoriya rosta zhivotnykh*, 252 (К.: Nauk. dumka, 1985).
22. Brayko V. D., Dereshkevich S. S. Sezonnnye izmeneniya v dykhanii midiy, *Ekologiya morya.*, 44, 31 (1978).
23. Sedova L. G., Viktorovskaya G. I. Zavisimost' intensivnosti obmena ot reproduktivnoy aktivnosti morskogo grebeshka *Mizuhopecten yessoensis* (Joy), *Izvestiya TINRO.*, 127, 469 (2000).

**УДК 581.632.121**

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА НЕКОТОРЫЕ  
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АКТИВНОСТИ  
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ  
В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ**

*Жижина М. Н., Омельченко А. В.*

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

Изучали влияние синтетических регуляторов роста – ивина и 6-БАП – на структурно-функциональные показатели фотосинтетического аппарата растений кукурузы на ранних этапах онтогенеза в условиях засоления. Установлено, что засоление в динамике опыта у 7–21-дневных растений снижает в большей степени содержание хлорофилла *a*, чем хлорофилла *b*, и повышает содержание каротиноидов у 14–21-дневных растений, что является одной из защитно-приспособительных реакций в ответ на экстремальные воздействия. Показано снижение показателей восстановительной активности хлоропластов растений кукурузы под влиянием солевого стресса. Препарат ивин в биологически активной концентрации оказывает более существенное влияние на структурно-функциональные показатели кукурузы и чистую продуктивность фотосинтеза на фоне засоления по сравнению с препаратом БАП, что подтверждает его протекторное действие.

**Ключевые слова:** кукуруза (*Zea mays* L.), ивин, 6-БАП, пигменты, восстановительная активность хлоропластов, чистая продуктивность фотосинтеза.

**ВВЕДЕНИЕ**

Почвенное засоление в настоящее время стало важной проблемой для растениеводства во многих государствах, в том числе для южных регионов Российской Федерации, особенно для Крыма. Площадь засоленных почв РФ включает 23,3 млн га, что составляет 20 % площади сельскохозяйственных угодий России [1].

Особенно важной стороной негативного действия солей на растения является изменение состояния фотосинтетического аппарата и снижение фотосинтетической продуктивности культурных растений в целом [2, 3].

В целях повышения солеустойчивости и продуктивности культурных растений применяются регуляторы роста, которые способствуют адаптации растений к солевому стрессу. К числу таких препаратов относятся синтетические регуляторы роста 6-БАП и ивин (2,6-диметилпиридин-N-оксид), физиологические механизмы защитного действия которых в последнее время активно изучаются. Однако их влияние на пигментный состав фотосинтетического аппарата растений на фоне засоления в литературе практически не освещено.

Целью данной работы явилось изучение адаптирующего действия ивина и 6-БАП в условиях хлоридного засоления на показатели фотосинтетического аппарата растений кукурузы в начальный период онтогенеза.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были взяты растения кукурузы (*Zea mays* L.) сорта Краснодарский 280 СВ, широко районированного в Крыму.

Исследования проводили в условиях лаборатории. Семена в количестве 100 штук помещали в кюветы на фильтровальную бумагу, смоченную в растворах в соответствии со схемой опыта: 1 – контроль (отстоянная водопроводная вода); 2 – 100 мМ NaCl; 3 – 100 мМ NaCl + 6-БАП 5 мкг/л; 4 – 100 мМ NaCl + ивин 50 мкг/л [4]. Семена проращивали при температуре 24 °С.

Проросшие семена высаживали в вегетационные сосуды емкостью 2 кг (контрольного варианта – в пресную почву, опытных вариантов – в засоленную). В качестве субстрата для растений контрольного варианта была взята лугово-черноземная почва без признаков засоления в долине реки Салгир. Опытным образцом служила эта же почва, содержащая 0,2 % NaCl на единицу сухой массы почвы.

Засоление моделировалось внесением в сосуды хлорида натрия с поливной водой. Влажность почвы в сосудах поддерживали на уровне 60 % от полевой влагоемкости (ПВ). Температура в лаборатории составляла 24–25 °С, освещенность – 10 кЛК. Продолжительность опыта – 1 месяц.

В ходе эксперимента определяли восстановительную активность хлоропластов, содержание пигментов и чистую продуктивность фотосинтеза растений. Эксперименты проводили в 3-кратной биологической повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Г. Ф. Лакину [5], в таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные нами исследования показали, что в динамике опыта в контрольном варианте наблюдалось возрастание хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов во всех вариантах, что, по-видимому, связано с онтогенетическим состоянием растений (рисунок).

Засоление умеренной концентрации (100 мМ) оказало негативное влияние на содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов в листьях растений кукурузы. Как показывают данные рисунка, под влиянием засоления особенно существенно снизилось содержание Хл *a* у исследуемых растений и, соответственно, уменьшилось и содержание суммы зеленых пигментов по сравнению с контрольным вариантом. Содержание Хл *a* и Хл *b* у растений кукурузы на солевом фоне составило 77,1 % и 78,1 % против контроля. Установленное влияние хлорида натрия на содержание Хл *a* и Хл *b*, по нашему мнению, обусловлено принадлежностью данных растений к C<sub>4</sub>-пути фиксации углерода.

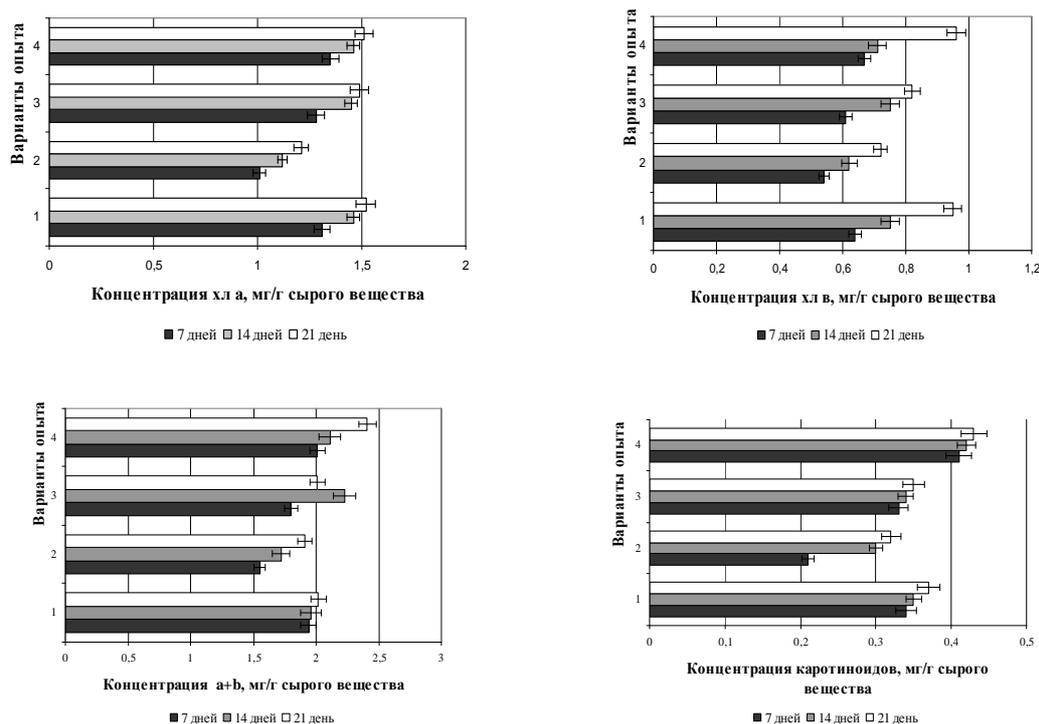


Рис. Влияние засоления и стимуляторов роста на содержание фотосинтетических пигментов и их соотношение в листьях растений кукурузы: 1 – контроль, 2 – 100 мМ NaCl, 3 – 100 мМ NaCl + БАП; 4 – 100 мМ NaCl + ивин.

Содержание в растениях зеленых пигментов зависит от активности ферментов, катализирующих биосинтез и гидролиз пигментных комплексов. Одним из таких пигментов является хлорофиллаза (хлорофилл-хлорофиллид-гидролаза 3.1.1.14.), катализирующая гидролиз эфирной связи между фитолом и С-17<sup>3</sup> группой пропионовой кислоты хлорофиллов *a* и *b* с образованием хлорофиллида и фитола. Содержание хлорофилла во многом зависит от активности этого фермента, и под действием стрессовых факторов активность хлорофиллазы повышается [6]. Следовательно, одной из важнейших причин снижения содержания хлорофиллов (в первую очередь Хл *a*) в условиях засоления можно считать активацию фермента хлорофиллазы [2, 3, 7].

Изменения в содержании хлорофиллов в листьях растений на солевом фоне могут быть вызваны разбалансированием процессов синтеза и распада пигментов, а также изменением свойств липопротеидного комплекса мембран хлоропластов [8]. Так как большинство пигментов фотосинтеза является мембраносвязанными, на их активность существенно влияют изменения структуры и физико-химических свойств мембран, наблюдаемые при действии засоления. Показано, что в этих условиях уменьшается текучесть мембран и снижается соотношение белки/липиды, изменяется состав жирных кислот. Кроме того, засоление вызывает изменение

транспортных функций мембран, трансмембранного потенциала и в результате – активности мембраносвязанных ферментов, что приводит к перекисному окислению мембранных липидов, наблюдаемое в этих условиях [3, 7–9].

Как следует из данных рисунка, экзогенные регуляторы роста способствуют повышению содержания хлорофиллов в листьях кукурузы на солевом фоне. В вариантах с регуляторами роста содержание Хл *a* приближается к контролю под действием БАП, в большей степени ивина. Для Хл *b* установлена аналогичная закономерность, с той лишь разницей, что позитивное действие ивина было выражено больше.

Положительное влияние цитокининов распространяется на состояние фотосинтетического аппарата, обмен веществ и структурные компоненты клеток (мембраны тилакоидов) [6, 7]. В результате происходит активация основной функции листа – фотосинтеза. Установлено также, что фитогормоны оказывают регуляторное действие на функции растительной клетки на мембранном уровне. Действие гормонов на мембраны приводит к уменьшению пассивной проницаемости мембран, к изменению функций ионных насосов. Кроме того, фитогормоны регулируют функциональную активность мембран через изменение внутриклеточного метаболизма (окислительное фосфорилирование, рН-стат и др.) [2, 9, 10].

Исследования показали, что синтетический аналог цитокининов БАП в условиях солевого стресса оказал позитивное действие не только на содержание пластидных пигментов в листьях кукурузы, но и на функциональные характеристики системы фотосинтеза (восстановительная активность хлоропластов, чистая продуктивность фотосинтеза).

Следовательно, в основе активации функции роста фитогормонами цитокининовой группы на фоне действия неблагоприятных факторов среды лежит их регуляторное действие на фотосинтетический аппарат, что подтверждает теоретическое предположение о том, что фитогормоны способны включать большие функциональные программы [11].

Наглядно выраженное позитивное действие препарата ивина на пигментный состав кукурузы в условиях солевого стресса можно объяснить характеристикой его свойств. В работе С. П. Пономаренко [4, 12] показано, что 2,6 –диметилпиримидин-N-оксид оказывает физиологическое действие, аналогичное фитогормонам, так как он проявляет ауксиновую и цитокининовую активность, повышает интенсивность процессов транскрипции и трансляции. Было показано также, что экзогенный ивин в условиях засоления оказывает регуляторное действие на транспортные функции мембран, способствует поддержанию ионного гомеостаза клеточных компартментов [8].

На фоне засоления содержание каротиноидов у 7-дневных растений кукурузы уменьшилось на 39,2 % против контрольного варианта. В последующие сроки определения эта разница нивелировалась и составляла 14,2 % у 14-дневных и 13,4 % у 21-дневных растений. На фоне экзогенного препарата БАП содержание каротиноидов было близко к контролю, а на фоне ивина наблюдается весьма существенное увеличение содержания каротина на солевом фоне (рисунок).

Основным критерием функциональных свойств хлоропластов, обеспечивающих их роль в процессе фотосинтеза, является их восстановительная активность [13].

При исследовании восстановительной активности хлоропластов, изолированных из листьев 14-дневных растений кукурузы, выявлено, что на солевом фоне она уменьшалась по сравнению с контролем в 1,3 раза в мезофилле и в 1,2 раза в обкладке (табл. 1). В процессе опыта в варианте 100 NaCl происходит небольшое увеличение данного показателя: в мезофилле восстановительная активность хлоропластов у 21-дневных растений возрастает в 1,3 раза, а в обкладке – в 1,4 раза по сравнению с 7 дневными растениями.

**Таблица 1**

**Влияние ивина и БАП при солевом стрессе на восстановительную активность хлоропластов, изолированных из листьев кукурузы**

Количество восстановленного ДХФИФ, ммоль/ г ·chl·час <sup>-3</sup>				
14-дневные растения				
Варианты опыта	Контроль	100 mM NaCl	100 mM NaCl + БАП	100 mM NaCl + ивин
<b>мезофилл</b>	5,72±0,13	4,58±0,25	5,48±0,37	6,01±0,27
%	100,0	80,1	95,8	105,1
<b>обкладка</b>	3,54±0,01	2,96±0,30	3,01±0,29	3,64±0,12
%	100,0	83,8	85,0	102,8
21-дневные растения				
<b>мезофилл</b>	7,50±0,14	6,17±0,34	7,30±0,35	7,98±0,27
%	100,0	82,3	97,3	106,4
<b>обкладка</b>	4,70±0,04	3,97±0,25	4,09±0,27	4,81±0,30
%	100,0	84,4	87,0	102,3

Увеличение показателя на солевом фоне под действием регуляторов роста наблюдается как у 14-дневных, так и у 21-дневных растений: и в мезофилле, и в обкладке данный показатель в процессе опыта увеличивается в 1,2–1,3 раза.

Как показано, восстановительная активность хлоропластов зависит от работы ферментов электронтранспортной цепи. У растений C<sub>4</sub>-пути восстановительная активность в клетках мезофилла зависит от наличия восстановленных эквивалентов НАДФН, что, в свою очередь, определяется активностью ферментов малатдегидрогеназного комплекса [2, 3, 8].

Действие стимулятора роста ивина в динамике увеличивало восстановительную активность хлоропластов на солевом фоне в клетках мезофилла и обкладки в 1,3–1,5 и 1,2–1,3 раза соответственно. На фоне действия БАП показатель более существенно возрастал в клетках мезофилла, и его значение приближалось к контролю.

Таким образом, хлоропласты клеток мезофилла оказались более чувствительными к воздействию засоления и стимуляторов роста, что проявляется в изменении их функциональной активности. Наглядно показано, что препарат ивин более эффективно снимает стрессовое воздействие, о чем свидетельствует возрастание данного показателя по сравнению не только с солевым, но и с контрольным вариантом.

По литературным данным, влияние засоления на восстановительную активность хлоропластов зависит от концентрации соли и продолжительности действия стрессора. Как показали исследования К. Сафарова [3], воздействие фактора низкой напряженности приводит к интенсификации как циклического фосфорилирования, так и к скорости реакции Хилла. Увеличение синтеза АТФ приводит, в свою очередь, к поддержанию активной структуры хлоропластов и повышению интенсивности фотосинтеза [14, 15].

Согласно многочисленным данным большинства исследователей, при влиянии солевого стресса на фотохимическую активность хлоропластов культурных растений наблюдается снижение их восстановительной активности при действии засоления определенной концентрации, что было отмечено на растениях томатов, хлопчатника, ячменя. Показано, что негативное влияние солевого стресса на световые реакции фотосинтеза во многом зависит от концентрации солей и продолжительности их действия [2, 3, 9, 13, 14, 16, 17].

В ходе исследования предполагалось, что адаптирующее действие регуляторов роста на растения на солевом фоне осуществляется в большей мере через их влияние на чистую продуктивность фотосинтеза (по сравнению с непосредственным влиянием на процессы фотосинтеза).

Исходя из данных таблицы 2, под влиянием засоления чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) снижалась у растений кукурузы и составила 93,8–95,4 % против контрольного варианта.

**Таблица 2**

**Определение чистой продуктивности фотосинтеза под влиянием засоления и стимуляторов роста, г сух. в-ва/м<sup>2</sup>·в сутки**

Варианты опыта	14-дневные растения	21-дневные растения
Контроль	3,91±0,3	4,17±0,3
100 мМ NaCl	3,65±0,1	3,96±0,2
100 мМ NaCl +БАП	4,28±0,2	4,35±0,2
100 мМ NaCl+ивин	4,46±0,3	5,02±0,3

Стимуляторы роста ивин и 6-БАП на засолении увеличивали данный показатель. У растений кукурузы на засоленном фоне чистая продуктивность фотосинтеза под влиянием препарата ивин составила 114,1 % и 120,4 % по сравнению с контрольным вариантом. На солевом фоне препарат 6-БАП увеличивал ЧПФ по сравнению с «чистым» засолением, но в меньшей степени, чем препарат ивин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из полученных данных, в листьях растений кукурузы под влиянием солевого стресса (100 мМ NaCl) происходит снижение содержания Хл *a*, *b* и повышение содержания каротиноидов. Действие регуляторов роста на солевом фоне приближает содержание Хл *a*, Хл *b* и каротиноидов в листьях исследуемых растений к контрольному варианту.

В результате полученных исследований выявлено снижение показателей восстановительной активности хлоропластов и чистой продуктивности фотосинтеза растений кукурузы сорта Краснодарский 280 СВ под влиянием солевого стресса. Препарат ивин в биологически активной концентрации оказывает более существенное ( $p < 0,01$ ) влияние на данные показатели на фоне засоления по сравнению с препаратом 6-БАП.

## Список литературы

1. Оценка площадей засоленных почв на территории европейской части России (по электронной версии карты засоления почв масштаба 1 : 2,5 млн) / Н. Б. Хитров, Д. И. Рухович, Н. В. Калинин [и др.] // Почвоведение. – 2009. – № 6. – С. 627–637.
2. Алина Б. А. Рибосомы хлоропластов гороха в условиях хлоридного засоления / Б. А. Алина, Л. К. Клышев // Физиология и биохимия культурных растений. – 1992. – Т. 14, № 4 – С. 342–345.
3. Сафаров К. Состояние энергетических функций митохондрий и хлоропластов растений при воздействии экстремальных факторов среды : автореф. дис. на соиск. учен. степени доктора биол. наук: спец. 03.00.12. «Физиология растений», 03.00.04. «Биохимия» / Сафаров К. – Ташкент, 1994. – 44 с.
4. Пат. 57370А Україна, МПК 7А01С1/00 Спосіб передпосівної обробки насіння зернових культур / Кабузенко С. М., Пономаренко С. П., Жижина М. М. Заявник і патентовласник Таврійський національний університет В. І. Вернадського. – № 2002031812; заявл. 05.03.02, опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
6. Фомишина Р. Н. Хлорофиллаза при хлоридном хлорозе: автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук.: спец.: 03.00.12. «Физиология растений» / Р. Н. Фомишина. – Киев, 1984. – 22 с.
7. Влияние синтетических регуляторов роста ивина и БАП на показатели водообмена проростков кукурузы и ячменя на фоне хлоридного засоления / С. Н. Кабузенко, М. Н. Жижина, С. П. Пономаренко [и др.] // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – № 2. – С. 146–152.
8. Епринцев А. Т. Функционирование малатдегидрогеназной системы в мезофилле и обкладке листьев кукурузы в условиях солевого стресса / А. Т. Епринцев, О. С. Федорина // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 6. – С. 820–827.
9. Изучение индуцибельных и конститутивных механизмов устойчивости к солевому стрессу у гравилата городского / Н. Л. Радюкина, Ю. В. Иванов, А. В. Карташев [и др.] // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 5. – С. 692–698.
10. Йонева Ж. Биометрические показатели и осмотический потенциал органов растений в условиях хлоридного засоления / Ж. Йонева, А. Е. Петров-Спиридонов // Известия ТСХА. – 1995. – № 3 – С. 120–125.
11. Троян В. М. Частичная синхронизация клеточного деления в меристематических клетках корней / Троян В. М., Калинин Ф. Л. // Физиология и биохимия культурных растений. – 1991. – Т. 3. – № 1. – С. 26–32
12. Регуляторы роста растений на основе N-оксидов производных пиридина. Физико-химические свойства и механизм действия / С. П. Пономаренко, Т. К. Николаенко, В. М. Троян [и др.] // Регуляторы роста растений. – К., 1992. – С. 28–53.
13. Кефели В. И. Фотоморфогенез, фотосинтез и рост как основа продуктивности растений. / Кефели В. И. – Пушино: ЦНТИ ПНЦ АН СССР, 1991. – 134 с.

14. Кабузенко С. Н. Влияние засоления и экзогенных фитогормонов на рост и некоторые физиолого-биохимические функции растений на ранних этапах онтогенеза: авторефер. дис. на соискание уч. степ. д-ра биол. наук: спец. 03.00.12 «Физиология растений» / С. Н. Кабузенко. – К., 1997. – 47 с.
15. Костюк А. Н. Ответная реакция растений на солевой стресс / А. Н. Костюк, А. Н. Остаплюк, Б. А. Левенко // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, № 6. – С. 525–541.
16. Структурно-функциональное состояние тилакоидов у галофита *Suaeda altissima* L. в норме и при нарушении водно-солевого режима под действием экстремально высоких концентраций NaCl / Балнокин Ю. В., Куркова Е. Б., Мясоедов Н. А. [и др.] // Физиология растений. – 2004. – Т. 51, № 6. – С. 905–912.
17. Шаркова В. Е. Влияние теплового стресса на структуру тилакоидной системы хлоропластов в клетках зрелых листьев пшеницы / В. Е. Шаркова, П. С. Бубли // Физиология растений. – 1996. – Т. 43, № 3 – С. 409–417.

### INFLUENCE OF REGULATORS OF GROWTH ON SOME STRUCTURALLY FUNCTIONAL INDICATORS OF ACTIVITY OF THE PHOTOSYNTHETIC DEVICE OF PLANTS OF CORN IN THE CONDITIONS OF SALINIZATION

*Zhizhina M. N., Omelchenko A. V.*

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

Studied the effect of synthetic growth regulators – ivin, 6-BAP on the structural and functional parameters of photosynthetic apparatus of maize plants at early stages of ontogenesis in the conditions of salinization.

Set that salinity in the dynamics of the experience at 7–21 day plant decreases to a greater extent the content of chlorophyll *a*, than in chlorophyll *b* and increases the content of carotenoids in the 14–21 day plant, which is one of the protective-adaptive reactions in response to extreme impact. Exogenous growth regulators negate the negative effect of salinity and increase of chlorophyll in leaves of maize. Under the influence of the drug BAP this figure is closer to the control option. The contents of Chl *a* and Chl *b* under the effect of the medicine ivin, even exceed the control saline background.

The salinity indication regenerative activity of chloroplasts isolated from the leaves of 14-day maize plants is reduced in the mesophyll and in the lining. Under the action of the growth regulators ivin and 6-BAP in the salt background there is the increase of a 14-day and 21-day plants. In the process of experience in the mesophyll, and in the lining it increases to 1.2–1.3 times.

The difference in the content of Chl *a* and Chl *b* in the recovery and activity of chloroplasts in leaves of maize plants are closely associated to changes in net productivity of photosynthesis.

So, at influence to salt stress (100 mM NaCl) happen decrease productivity of photosynthesis in 14 and 21 - day plants. Exogenous growth stimulator ivin and 6-BAP on the salinity increased this figure. The effect of drug BAP on the salt background is less than the product ivina. Indicators of neat productivity of photosynthesis under the influence of the drug ivin made 114,1 % of 120.4 % compared to the control variant.

So, the drug ivin in biologically active concentrations (50 mg/l) against salinity (100 mm NaCl) had a more significant impact on the concentrations of Chl *a*, Chl *b* and carotenoids, restorative activity of chloroplasts and neat productivity of photosynthesis of corn in the background salinity, in comparison with a preparation of BAP, which confirms the more pronounced its protective effect.

**Keywords:** corn (*Zea mays* L.), ivin, 6-BAP, pigments, recovery activity of chlorolayers, net productivity of photosynthesis.

### References

1. Hitrov N. B., Ruhovich D. I., Kalinina N. V., Novikova A. F., Pashkova E. I., Chernousenko O. Ocenka ploshhadej zasolennyh pochv na territorii evropejskoj chasti Rossii (po jelektronnoj versii karty zasolenija pochv masshtaba 1 : 2.5 mln.), *Pochvovedenie*, **6**, 627 (2009).
2. Alina B. A., Ribosomy hloroplastov goroha v uslovijah hloridnogo zasolenija, *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*, **14**, (4), 342 (1992).
3. Safarov K. *Sostojanie jenergeticheskikh funkcij mitohondrij i hloroplastov rastenij pri vozdeystvii jekstremal'nyh faktorov sredy* : avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni doktora biol. nauk, 44 (Tashkent, 1994).
4. Pat. 57370A Ukraïna, MPK 7A01S1/00 Sposib peredposivnoi obrobki nasinnja zernovih kul'tur / Kabuzenko S. M., Ponomarenko S. P., Zhizhina M. M. zajavnik i patentovlasnik Tavrijs'kij nacional'nij universitet V. I. Vernads'kogo. – № 2002031812; zajavl. 05.03.02, opubl. 15.11.2002, Bjul. № 11.
5. Lakin G. F., *Biometrija* (Moskov, Vyssh. shk., 1990).
6. Fomishina R. N., *Hlorofillaza pri hloridnom hloroze* : avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni kand. biol. Nauk, 22 (Kiev, 1984).
7. Kabuzenko S. N., Zhizhina M. N., Ponomarenko S. P., Vlijanie sinteticheskikh reguljatorov rosta ivina i BAP na pokazateli vodoobmena prorostkov kukuruzy i jachmenja na fone hloridnogo zasolenija, *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*, **2**, 146 (2009).
8. Eprincev A. T., Fedorina O. S. Funkcionirovanie malatdegidrogenaznoj sistemy v mezofille i obkladke list'ev kukuruzy v uslovijah solevogo stressa, *Fiziologija rastenij*, **54**, (6) 820 (2007).
9. Radjukina N. L., Ivanov Ju. V., Kartashev A. V., Shevjakova N. I., Rakitin Ju. V., Izuchenie inducibel'nyh i konstitutivnyh mehanizmov ustojchivosti k solevomu stressu u gravilata gorodskogo, *Fiziologija rastenij*, **54**, (5), 692 (2007).
10. Joneva Zh., Petrov-Spiridonov A. E., Biometricheskie pokazateli i osmoticheskij potencial organov rastenij v uslovijah hloridnogo zasolenija, *Izvestija TSHA*, **3**, 120 – 125 (1995).
11. Trojan V. M., Kalinin F. L., Chastichnaja sinhronizacija kletohnogo delenija v meristematiceskikh kletkah kornej, *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*, **3**, (1). 26 – 32 (1991).
12. Ponomarenko S. P., Nikolaenko T. K., Trojan V. M., Javorskaja V. K., Paladina T. A., Borovikov Ju. Ja., Reguljatory rosta rastenij na osnove N-oksidov proizvodnyh piridina. Fiziko-himicheskie svojstva i mehanizm dejstvija, *Reguljatory rosta rastenij*, 53 (1992).
13. Kefeli V.I., *Fotomorfogenez, fotosintez i rost kak osnova produktivnosti rastenij* (Pushhino, 1991).
14. Kabuzenko S. N., Vlijanie zasolenija i jekzogenykh fitogormonov na rost i nekotorye fiziologo-biohimicheskie funkcii rastenij na rannih jeta pah ontogeneza: avtorefer. dis. na soiskanie uch. step. d-ra biol. nauk, 47 (Kiev, 1997).
15. Kostjuk A. N., Ostapljuk A. N., Levenko B. A., Otvetnaja reakcija rastenij na solevoj stress, *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*, **26**, (6), 525 (1994).
16. Balnokin Ju. V., Kurkova E. B., Mjasoedov N. A., Lun'kov R. V., Shamsutdinov N. A., Egorova E. A., Buhov N. G., Strukturno-funkcional'noe sostojanie tilakoidov u galofita Suaeda altissima L. V norme i pri narushenii vodno-solevogo rezhima pod dejstviem jekstremal'no vysokih koncentracij NaCl, *Fiziologija rastenij*, **51**, (6), 905 (2004).
17. Sharkova V. E., Bublo P. S., Vlijanie teplovogo stressa na strukturu tilakoidnoj sistemy hloroplastov v kletkah zrelyh list'ev pshenicy, *Fiziologija rastenij*, **43**, (3). 409 (1996).

**УДК 612.019**

## **ЗАНЯТИЯ РЕГБИ КАК ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА**

*Ибрагимова Э. Э., Меситский В. С.*

*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь,  
Республика Крым, Россия  
E-mail: evelina\_biol@mail.ru*

В статье приводятся данные сравнительного анализа антропометрических, гемодинамических и функциональных показателей юношей, не занимающихся и занимающихся регби. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о положительном влиянии занятий регби на кардиореспираторную систему молодых людей, что проявляется в увеличении жизненной емкости легких, соответствии гемодинамических показателей физиологическим и возрастным нормативам. Рекомендуется включать данный вид спорта в занятия по физической культуре для совершенствования адаптационных возможностей студентов.

**Ключевые слова:** артериальное давление, гемодинамические показатели, юноши, спорт, регби.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Здоровье является важной составляющей жизни человека, определяющей ее продолжительность. Очевидным становится факт необходимости сохранения и укрепления здоровья каждого индивида. Следует отметить, что многие люди практически не задумываются о том, что здоровье на 50 % определяется образом жизни, и не уделяют этому должного внимания. В этой связи необходимо проводить разъяснительную работу, направленную на пропаганду здорового образа жизни.

Как правило, злоупотребление вредными привычками приходится на пубертатный возраст, характеризующийся сложными психофизиологическими перестройками организма. Это вызывает быстрое «привыкание» и негативно сказывается на морфофункциональном состоянии организма подростка. Спустя несколько лет молодые люди становятся студентами, и вновь приходится переживать сложный процесс адаптации к вузу. Возможно, эти факторы в совокупности сказываются на достаточно низком уровне состояния здоровья молодых людей [1, 2]. В этой связи особую актуальность приобретают подходы, способствующие повышению резервных возможностей организма и укреплению здоровья, к которым можно отнести стойкое неприятие к вредным привычкам и занятия спортом, так как двигательная активность способствует не только повышению уровня физического развития, но оказывает положительное влияние на органы и системы организма, повышая его адаптационные возможности [3].

Одним из важных показателей здоровья индивидуума является физическое развитие – процесс морфофункциональных преобразований, формирующихся под влиянием экзогенных (генотип) и эндогенных (средовых) факторов. Очень удобным способом оценки физического развития являются антропометрические методы исследования [3, 4]. В свою очередь, анализ функционирования сердечно-сосудистой системы позволяет установить уровень функционального состояния организма и его регуляторных систем [5]. В связи с этим цель настоящего исследования заключалась в проведении сравнительной оценки уровня физического развития студентов, занимающихся и не занимающихся спортом. В качестве студентов-спортсменов была выбрана команда молодых людей, занимающихся регби. Известно, что регби относится к циклическим видам спорта и требует от спортсменов не только хорошей физической подготовки, но и выдержки, выносливости, смелости.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняли участие юноши в возрасте от 17 до 19 лет ( $17,74 \pm 0,06$ ,  $n=71$ ), которые были разделены на две группы: 1 – занимающиеся спортом (игроки команды регби,  $n=12$ ); 2 – не занимающиеся спортом и относящиеся к основной медицинской группе ( $n=59$ ). Согласно принципам Хельсинкской декларации (2013), все обследуемые были проинформированы о цели и задачах исследования и дали согласие на участие в нем. В соответствии с целью исследования оценивали уровень физического развития молодых людей по антропометрическим данным, а также определяли функциональные и адаптационные возможности по показателям гемодинамики, жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и на основании расчетных формул [6].

ЖЕЛ на выдохе измеряли спирометром. Замеры гемодинамических показателей (систолическое и диастолическое артериальное давление – САД и ДАД, мм рт. ст.; частоту сердечных сокращений – ЧСС, уд/мин) у испытуемых проводили утром по методу Н. С. Короткова (в положении сидя аускультативным методом) в состоянии покоя путем 3-кратного измерения тонометром и вычисления среднего показателя.

На основании полученных гемодинамических показателей рассчитывали вегетативный индекс Кердо (ВИ); пульсовое давление (ПД); индекс Робинсона, двойное произведение (ИР, ДП); среднединамическое артериальное давление (СДД); периферическое сопротивление сосудов (ПСС); минутный объем кровообращения (МОК); ударный объем сердца (УОС); тип саморегуляции кровообращения (ТСК), а также коэффициент эффективности кровообращения (КЭК) [6].

Полученные результаты исследований обрабатывались с помощью методов математической статистики в программе Excel. Для оценки достоверности полученных данных использовали t-критерий Стьюдента.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты проведенного исследования позволили установить определенные отличия по соматометрическим показателям обследуемых (рис. 1).

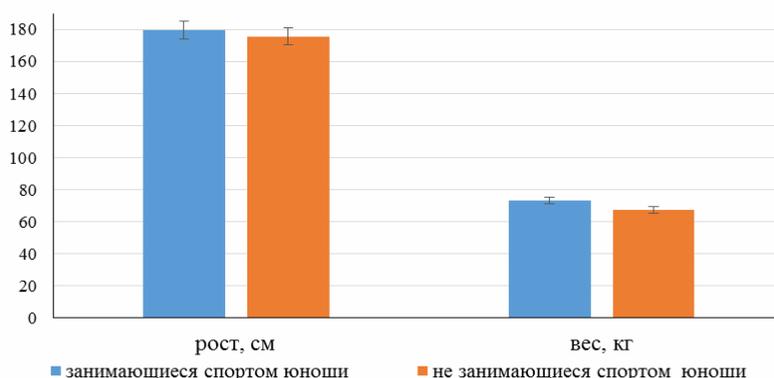


Рис. 1. Среднегрупповые значения соматометрических показателей обследованных юношей.

В частности, среднегрупповые показатели роста в группе юношей, не занимающихся спортом, составили  $175,68 \pm 0,86$  см, а в группе регбистов –  $179,50 \pm 2,11$ , однако различия между ними не были статистически значимыми. Сравнение массы тела юношей обеих групп также не обнаружило достоверных отличий. Таким образом, по соматометрическим показателям юноши обеих групп характеризовались близкими показателями.

Анализ функциональных возможностей организма позволил установить достоверные различия по ряду показателей между выделенными группами молодых людей (табл. 1).

Таблица 1.

Сравнительные среднегрупповые показатели деятельности кардиоваскулярной системы юношей, не занимающихся и занимающихся спортом (регби)

Исследованные показатели	Полученные значения ( $M \pm m$ )		Физиологическая норма
	не занимающиеся спортом (n = 59)	занимающиеся спортом (n = 12)	
Жизненная емкость легких (ЖЕЛ, мл)	$4173,39 \pm 88,73$	$4681,17 \pm 133,30^*$	4000–5500
Жизненный индекс (ЖИ, мл/кг)	$62,94 \pm 1,75$	$65,09 \pm 2,78$	65–70
Систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.)	$134,34 \pm 1,66$	$120,75 \pm 1,61^*$	110–120
Диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.)	$77,63 \pm 1,20$	$68,58 \pm 1,94^*$	60–80

Продолжение таблицы 1

Частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин.)	<u>81,64±1,32</u>	59,16±2,05*	60-80
Вегетативный индекс Кердо (ВИ, усл. ед.)	3,69±2,01	- <u>17,13±4,58*</u>	-15...+15
Индекс Робинсона (двойное произведение, ИР, ДП., усл. ед.)	<u>109,87±2,40</u>	<u>71,40±2,60*</u>	≤ 70
Среднединамическое артериальное давление (СДД, мм рт. ст.)	96,53±1,20	87,30±1,36*	70-110
Ударный объем сердца (УОС, мл)	66,36±1,11	69,07±2,41	60-80
Периферическое сопротивление сосудов (ПСС, л/мин.м <sup>2</sup> )	43,88±0,54	39,68±0,62*	30-50
Тип саморегуляции кровообращения (ТСК)	96,31±2,04	117,13±4,58	< 90 – сердечный, 90-110 – сердечно-сосудистый тип, >110 – сосудистый
Минутный объем крови (МОК, мл)	5415,50±125,62	4209,91±212,63*	3500-5500
Коэффициент экономичности кровообращения (КЭК)	<u>4637,102±143,64</u>	<u>3321,67±237,44*</u>	2500-3000

Примечание: показатель не соответствует физиологической норме; \* – различия статистически значимы при  $p < 0,001$ .

Полученные среднегрупповые значения гемодинамических показателей у обследованных студентов характеризовались статистически значимыми отличиями (рис. 2).

В частности, у студентов, занимающихся спортом, величина среднего показателя систолического артериального давления соответствовала физиологической норме, в то время как в группе не занимающихся спортом юношей указанный показатель был выше на 11,25 % ( $p < 0,001$ ). Аналогичная ситуация имела место с диастолическим артериальным давлением и частотой сердечных сокращений, величины которых превышали показатели спортсменов на 13,20 % ( $p < 0,001$ ) и 37,99 % ( $p < 0,001$ ) соответственно. У 40,68 % юношей, не

занимающихся спортом, отмечалось учащенное сердцебиение – от 86 до 117 уд/мин. Особого внимания заслуживает частота сердечных сокращений у юношей-регбистов, для которых характерен экономичный режим работы миокарда, так как работа сердца при высокой частоте сокращений становится менее эффективной в связи с сокращением времени кровенаполнения желудочков и уменьшением ударного объема. В проведенном исследовании среднее значение УОС у юношей, не занимающихся спортом, составило  $66,37 \pm 1,11$  мл, что соответствует физиологическим нормам. Однако анализ внутригрупповых показателей ударного объема сердца выявил, что у 20,34 % ( $n = 12$ ) молодых людей величина данного показателя варьировала от 35 до 51 мл ( $p < 0,05$ ). Вместе со снижением УОС у юношей было отмечено статистически значимое уменьшение ЖЕЛ ( $p < 0,05$ ,  $f = 57$ ,  $t = 6,58$ ,  $t_{st} = 2,003$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ), средняя величина которого составила  $3383,33 \pm 97,16$  мл, и учащенное сердцебиение. Анализ причин выявленных изменений позволил установить, что практически все юноши курят. Следовательно, курящие молодые люди имеют проблемы в функционировании кардиореспираторной системы, проявляющиеся в снижении УОС, ЖЕЛ и тахикардии. Таким образом, у юношей, не занимающихся спортом и злоупотребляющих курением, отмечается более высокая частота сердечных сокращений, что согласуется с литературными данными о негативном влиянии низкой двигательной активности на сердечно-сосудистую систему [7].

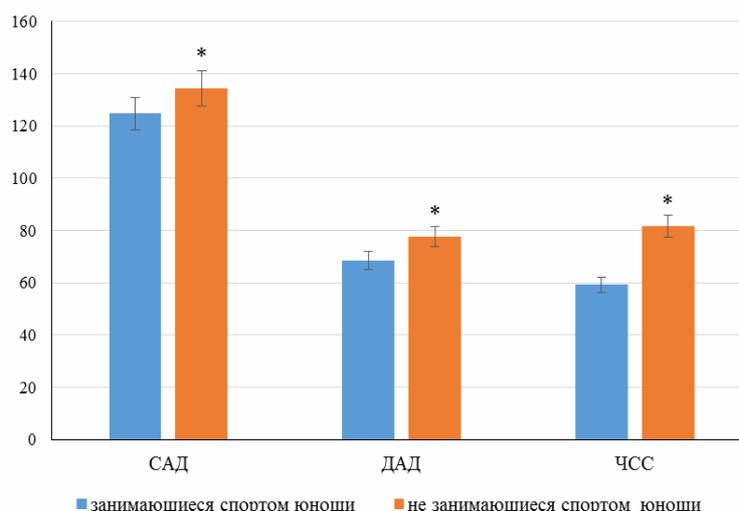


Рис. 2. Среднегрупповые значения гемодинамических показателей в обследованных группах студентов.

В этой связи была проведена оценка степени потребления кислорода миокардом (величина индекса Робинсона или двойного произведения), позволившая установить, что практически у всех обследуемых юношей указанный показатель в покое превышал физиологическую норму, характерную для данной возрастной

группы, что свидетельствуют о проблемах обменно-энергетических процессов, протекающих в миокарде, так как чем ниже ИР в покое, тем выше максимальные аэробные возможности и, следовательно, уровень физического здоровья индивида. Данный показатель в группе молодых людей, занимающихся спортом, практически соответствовал физиологической норме и имел достоверно более низкие значения в сравнении с группой юношей, не занимающихся спортом. Полученные данные свидетельствуют о том, что занятия регби оказывают положительное влияние на кардиоваскулярную систему молодых людей. Данный факт рекомендуется учитывать при организации занятий спортом с целью предупреждения развития артериальной гипертензии у молодых людей, так как в последние годы отмечается тенденция к росту числа случаев данной патологии среди детей, подростков и молодежи [8, 9].

Функциональные возможности органов дыхания определяли по величине жизненной емкости легких, среднегрупповой показатель которой в обеих группах юношей соответствовал возрастным и физиологическим нормам, однако у регбистов был на 12,17 % выше ( $p < 0,001$ ). Известно, что от величины ЖЕЛ зависят такие важные показатели, как: количество поглощаемого в единицу времени кислорода, степень интенсивности окислительных процессов и т. д., следовательно, игра в регби благоприятно воздействует на органы дыхательной системы, степень насыщаемости кислородом и обменные процессы. На основании ЖЕЛ был произведен расчет жизненного индекса (отношения ЖЕЛ к весу). Величина данного индекса у юношей, не занимающихся спортом, была ниже физиологического показателя, в то время как в группе регбистов соответствовала ему (см. табл. 1).

На основании гемодинамических показателей был произведен расчет индекса Кердо, позволяющего установить доминирующий отдел вегетативной нервной системы. В группе регбистов была установлена склонность к парасимпатикотонии, что свидетельствует об экономичной работе систем организма в покое. Возможно именно преобладающее влияние парасимпатической нервной системы на работу сердца обуславливает более низкие показатели минутного объема крови у регбистов, которые на 22,26 % ( $p < 0,001$ ) были ниже, чем у студентов, не занимающихся спортом. У юношей, не занимающихся спортом, установлены внутригрупповые отличия по показателям индекса Кердо, в частности у 74,57 % обследуемых установлена сбалансированность симпато-парасимпатической регуляции вегетативных функций, для 20,34 % оказалась характерной симпатикотония и 5,08 % – парасимпатикотония.

С целью определения уровня тканевой перфузии у студентов рассчитывали среднединамическое артериальное давление. Полученные результаты позволили установить, что в целом данный показатель у обследуемых юношей находился в пределах физиологической нормы, однако у регбистов среднегрупповые показатели имели статистически значимые отличия и были ниже на 9,56 % ( $p < 0,001$ ). Полученные показатели СДД послужили основой для определения периферического сопротивления сосудов, которое у юношей тоже соответствовало физиологической норме, но у регбистов вновь отмечалось достоверно более низкое значение – меньше на 9,57 % ( $p < 0,001$ ). У трех юношей из группы не

занимающихся спортом отмечено превышение ПСС в сравнении с физиологической нормой (от 51,97 до 53,94 л/мин. м<sup>2</sup>), что свидетельствует о вазоконстрикции, которая может явиться результатом стимуляции сосудодвигательного центра, локализованного в продолговатом мозге. Следовательно, показатель периферического сопротивления сосудов отражает степень влияния центральной нервной системы на сердечно-сосудистую. В этой связи устанавливали тип саморегуляции кровообращения, отражающий фенотипические особенности организма и позволяющий определить уровень напряжения в регуляции сердечно-сосудистой системы у обследованных студентов. В группе юношей, не занимающихся спортом, средняя величина анализируемого показателя отражала сердечно-сосудистый тип саморегуляции кровообращения, а у регбистов – сосудистый, что свидетельствует о ее экономизации и повышении функциональных резервов. Таким образом, занятия регби способствуют смещению типа регуляции сердечно-сосудистой системы в сторону преобладания сосудистого компонента, что благотворно сказывается на ее функционировании. Среднегрупповой коэффициент экономичности кровообращения ( $KЭК = 4637,10 \pm 143,64$ ) у обследованных юношей из группы не занимающихся спортом значительно превышал физиологическую норму, что свидетельствует о развитии состояния утомления. Показатель  $KЭК$  у спортсменов имел статистически значимые отличия в сравнении с юношами, не занимающимися спортом, но несколько превышал физиологическую норму (см. табл. 1), что может быть результатом перетренированности.

В целом, полученные данные свидетельствуют, что занятия регби оказывают положительное влияние на функциональные и гемодинамические показатели организма молодых людей, в силу чего рекомендуется включать данный вид спорта в занятия по физической культуре.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сравнительный анализ среднегрупповых величин антропометрических показателей молодых людей, занимающихся и не занимающихся спортом, не обнаружил статистически значимых отличий.
2. Установлены статистически значимые отличия при сравнении гемодинамических параметров студентов, занимающихся регби и не занимающихся спортом. В частности, величина среднегруппового показателя систолического артериального давления у регбистов соответствовала физиологической норме, в группе не занимающихся спортом юношей указанный показатель был выше на 11,25 % ( $p < 0,001$ ). Аналогичная ситуация имела место с диастолическим артериальным давлением и частотой сердечных сокращений, величины которых превышали показатели спортсменов на 13,20 % ( $p < 0,001$ ) и 37,99 % ( $p < 0,001$ ) соответственно.
3. У регбистов отмечалась низкая частота сердечных сокращений ( $59,16 \pm 2,05$  уд/мин), что свидетельствует об экономичном режиме работы миокарда. В свою очередь, в группе юношей, не занимающихся спортом, у 40,68 % установлена склонность к тахикардии (от 86 до 117 уд/мин), что

свидетельствует о менее эффективной работе сердца в связи с сокращением времени кровенаполнения желудочков и об уменьшении ударного объема.

4. Результаты проведенного исследования позволили установить статистически значимые отличия гемодинамических параметров и функционирования сердечно-сосудистой системы у обследуемых юношей. В частности, у юношей, не занимающихся спортом, отмечались высокие показатели гемодинамических величин (САД, ДАД, ЧСС, ИР, СДД, ПСС, МОК, КЭК), что связано с напряженным функционированием сердечно-сосудистой системы.
5. Функциональные возможности органов дыхания у обследованных юношей соответствуют физиологическим и возрастным нормам, однако величина жизненной емкости легких у регбистов на 12,17 % выше ( $p < 0,001$ ), что отражается на количестве поглощаемого в единицу времени кислорода и интенсивности окислительных процессов. Показатель жизненного индекса у юношей, не занимающихся спортом, был ниже физиологической нормы, в то время как у регбистов соответствовал ему.

### Список литературы

1. Дерябин Д. Г. Состояние здоровья студентов многопрофильного вуза и оказывающие на него воздействие факторы / Д. Г. Дерябин, Н. А. Волков, Т. Н. Игнатова, Н. Н. Комаров // Вестник ОГУ. – 2005. – № 5. – С. 68–72.
2. Фильчаков С. А. Актуальные проблемы здоровья студентов / С. А. Фильчаков, И. В. Чернышева, М. В. Шлемова // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 10. – С. 192–192.
3. Асташова А. Ю. Особенности физического развития и физической подготовленности детей Республики Беларусь в возрасте 12–16 лет / А. Ю. Асташова, Е. Э. Петрова, Е. В. Хроменкова // <http://medsport.by/osobennosti-fizicheskogo-razvitiya-i-fizicheskoy-podgotovlennosti-detey-respubliki-belarus-v>.
4. Булгакова Н. Ж. Оценка физического развития и двигательной подготовленности пловцов и школьников 11–16 лет, не занимающихся спортивным плаванием / Н. Ж. Булгакова, И. В. Чеботарева // Теория и практика физической культуры. – Выпуск: 1. – 1996. – С. 49–52.
5. Говорухина А. А. Состояние сосудов как один из критериев адаптации организма к условиям Севера / А. А. Говорухина, О. А. Мальков, А. А. Новоселова // Здоровье и образование в XXI веке. – 2016. – Т. 18 (11). – С. 55–58.
6. Брин В. Б. Физиология системного кровообращения. Формулы и расчеты. / В. Б. Брин, Б. Я. Зонис. – Изд-во Ростовского университета, 1984. – 88 с.
7. Соколов А. Г. Эколого-физиологические механизмы развития организма детей Среднего Приобья: Дисс. ... докт. мед. наук / А. Г. Соколов. – Тюмень, Ханты-Мансийск, 2002. – 322 с.
8. Кисляк О. А. Артериальная гипертензия в подростковом и молодом возрасте / О. А. Кисляк // Актуальные вопросы диагностики и фармакотерапии в педиатрии: лекции для практикующих врачей. – М., 2004. – С. 102–116.
9. Шайбакова Л. Р. Ранние профилактические подходы к проблеме артериальной гипертензии у детей и подростков / Л. Р. Шайбакова, А. В. Мелитицкая, И. М. Карамова, Л. В. Яковлева // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2007. – № 3 (55). – С. 45–47.

**PLAYING RUGBY AS YET ANOTHER OPPORTUNITY TO INCREASE THE  
ADAPTATIONAL CAPACITY OF HUMAN BODY**

*Ibragimova E. E., Mesitskiy V. S.*

*State Budget Educational Institution of Higher Education of the Republic of Crimea "Crimean Engineering and Pedagogical University", Simferopol, Crimea, Russian Federation  
E-mail: evelina\_biol@mail.ru*

The article presents the data received from the comparative analysis of the anthropometric, hemodynamic and functional parameters of the young males going in for rugby and those who do not practice rugby. The results of the study testify to a positive impact of regular rugby exercise on the cardiorespiratory system of the test group (the young males going in for rugby) manifested in the increased lung capacity and conformity of hemodynamic parameters to age-specific and physiological standards.

In particular, a comparative analysis of the mean anthropometric parameters in the test group and the young male who do not practice rugby does not show any statistically significant differences. Statistically significant differences are manifest in the hemodynamic parameters of the two groups. The mean systolic blood pressure value in the rugby players met the physiological standard while the same parameter in the group of young males who do not practise rugby was 1.25 % higher ( $p < 0.001$ ). The mean diastolic blood pressure and heart rate values in the group of the young male who do not practice rugby exceed the same values in the test group by 13,20 % ( $p < 0.001$ ) and 37,99 % ( $p < 0.001$ ) respectively.

The rugby players had a low heart rate ( $59,16 \pm 2,05$  beats/min) which indicates to an efficient myocardial performance. 40.68 % of the young males who do not practice rugby manifested predisposition to tachycardia (86-117 beats/min) due to decreased heart function as a result of reduced blood supply to the ventricle and decreased ventricular ejection. The study revealed statistically significant differences in the hemodynamic parameters and cardiovascular function in the two groups. The young males who do not practise sports showed high values of the hemodynamic parameters associated with decreased cardiovascular function.

The respiratory function in the two groups of young males meets the physiological standards though the lung capacity in the rugby players is 12.17 % higher ( $p < 0.001$ ) which impacts the amount of oxygen inhaled per time unit and the oxidation intensity. The lung capacity ratio in the young males who do not practice rugby was below the physiological standard while the same in the rugby players met the physiological standard. Therefore, it is recommended to include this sports in the physical exercise to increase the adaptational capacity in students.

**Keywords:** blood pressure, hemodynamic parameters, young males, sport, rugby.

**References**

1. Deryabin D. G., Volkov N. A., Ignatova T. N., Komarov N. N., The health of the students of a multidisciplinary high school and contributing factors, *Bulletin of the Orenburg State University*, **5**, 68 (2005).

2. Filchakov S. A., Chernysheva I. V., Shlemova M. V., Topical issues of students' health, *Achievements of modern natural science*, **10**, 192 (2013).
3. Astashova A. Y., Petrova E. E., Khromenkova E. V., *Features specific to physical growth and fitness of children aged 12-16 in the Republic of Belarus*, <http://medsport.by/osobennosti-fizicheskogo-razvitiya-i-fizicheskoy-podgotovlennosti-detey-respubliki-belarus-v>
4. Bulgakova N. Zh., Chebotarev I. V., Evaluation of physical growth and fitness in swimmers and school students aged 11–16 who do not go in for swimming, *Theory and practice of physical exercise*, **1**, 49 (1996).
5. Govorukhina A. A., Malkov O. A., Novoselova A. A., The status of vascular system as one of the criteria of human body adaptation to the North conditions, *Health and education in the twenty-first century*, **18** (11), 55 (2016).
6. Brin V. B., Zonis B. H. *General blood circulation physiology. Formulas and calculations*, 88 p (Rostov University Publishing House, 1984).
7. Sokolov A. G. Ecological and physiological aspects of the child physical growth and development in the Middle Ob region, Doctoral thesis, 322 p (Tyumen, Khanty-Mansyisk, 2002).
8. Kislyak O. A. Hypertension in adolescence and young age, *Topical issues of diagnosis and pharmacotherapy in pediatrics: lectures for practitioners*, 102 (2004).
9. Shaibakova L. R., Melititskaya A. V., Karamova I. M., Yakovleva L. V., Early prevention-based approaches to hypertension in children and adolescents, *Bulletin of East Siberian Research Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*, **3** (55), 45 (2007).

УДК 635.925:581.82

## ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ ПАРКОВЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ ФИТОГЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Коба В. П.<sup>1</sup>, Браилко В. А.<sup>1</sup>, Коренькова О. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –  
Национальный научный центр РАН», Ялта, Республика Крым, Россия

<sup>2</sup>Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: kobavp@mail.ru

Водный режим является одним из факторов, определяющих особенности функционирования и жизненное состояние растений. Наибольшее воздействие на данный показатель оказывают факторы внешней среды. Высокий уровень лабильности водного режима позволяет его использовать как тест-признак изменения общего физиологического состояния растения при различных видах внешнего воздействия. Цель работы – изучение особенностей водного режима декоративных древесно-кустарниковых растений при совместном произрастании в условиях парковых сообществ. Исследования проводили в парках арборетума Никитского ботанического сада. На отдельных куртинах заложено 20 модельных площадок, на которых выделили 20 пар растений различных видов. В зоне пересечения фитогенных полей некоторых декоративных растений выявлены изменения в водном режиме тканей листовых пластинок. У видов, которые при фитогенном взаимодействии проявляли увеличение интенсивности роста листовых пластинок, выявлена стабилизация водного режима и повышение уровня засухоустойчивости. Полученные данные свидетельствуют о реализации синэкологических механизмов стимулирования адаптивных функций декоративных растений, что обеспечивает повышение устойчивости группы при негативном воздействии факторов внешней среды. **Ключевые слова:** водный режим, парковые сообщества, фитогенное взаимодействие, декоративные растения, адаптация, синэкологические группы.

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей роста и развития декоративных растений в условиях парковых сообществ является одним из приоритетных направлений совершенствования методов зеленого строительства, формирования принципов ландшафтного фитодизайна в области оптимизации структуры и состава садово-парковых композиций [1, 2]. Рациональное сочетание растений с позиции их отношения к факторам внешней среды обеспечивает повышение эффективности мероприятий по содержанию зеленых насаждений. Менее очевидной, однако достаточно значимой является проблема синэкологического взаимодействия растений различных видов в условиях искусственно созданных сообществ. В настоящее время в работах многих исследователей дана характеристика аллелопатического влияния корневых выделений растений [3–5]. Специфика синэкологического взаимодействия в сфере надземных структур менее изучена. Крайне ограничена информация о влиянии фитогенного воздействия на

физиологическое состояние растений [6, 7]. Подавление или, наоборот, стимулирование физиологических процессов оказывает непосредственное влияние на рост и развитие растения, его жизненное состояние и уровень устойчивости к действию лимитирующих факторов. В условиях парковых сообществ эти явления во многом определяют эстетическую привлекательность и декоративные свойства растений.

Особенности функционирования и жизненное состояние растений в значительной степени определяются их водным режимом. Данный показатель весьма чувствителен к действию факторов внешней среды, прежде всего термо- и гидрометеофакторам. Высокий уровень лабильности водного режима позволяет его использовать как тест-признак динамики физиологического состояния растения при различных видах внешнего воздействия.

Целью данной работы было изучение особенностей водного режима декоративных древесно-кустарниковых растений при совместном произрастании в условиях парковых сообществ.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Исследования проводили в паровых сообществах арборетума Никитского ботанического сада. На отдельных куртинах было заложено 20 пробных площадок, на которых выделили 20 пар модельных растений различных видов с целью изучения особенностей их фитогенного взаимодействия. При подборе пар растений учитывалась идентичность микроклиматических, эдафических и орографических характеристик условий их произрастания с максимальным исключением механического контакта и взаимного затенения. В 2015 г., используя методы дендрометрии [8], провели изучение размеров листовых пластинок в условиях синэкологического взаимодействия. Измеряли длину и ширину у 30 листовых пластинок в частях кроны модельных растений, расположенных в направлении друг к другу. В качестве контроля выполняли аналогичные измерения на противоположных сторонах крон. По результатам проведенных исследований были выбраны растения, у которых при совместном произрастании наблюдалось изменение размеров листовых пластинок в зоне пересечения их фитогенных полей. С использованием этих видов растений в 2016 г. были проведены исследования особенностей их водного режима при фитогенном взаимодействии. В качестве критериев, характеризующих уровень физиологической реакции на внешнее воздействие, использовали показатели: общую оводненность листьев, определяемую методом термической сушки при 105°C [9]; фракционный состав воды по методу Маринчика–Гусева (1960) [10]; водоудерживающую способность и стойкость к обезвоживанию по методикам Лищука (1991); водный дефицит – по методу Кушниренко (1991) [11, 12].

Отбор образцов вегетативных органов для проведения физиологических исследований осуществлялся в следующие периоды: начало вегетации – 2 декада апреля; оптимальный по характеристикам метеорологических факторов период вегетации – 2 декада июня; максимальное напряжение гидрометеостресса – конец июля. Погодные условия в период проведения исследований анализировали,

используя данные агрометеостанции «Никитский сад». Статистическую обработку количественных результатов наблюдений проводили, применяя методы вариационной статистики [13]. Достоверность различий между вариантами измерений оценивали с помощью t-критерия Стьюдента на 5 %-ном уровне значимости.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка динамики роста вегетативных органов в 2015 г. позволила выявить, что при совместном произрастании в условиях парковых сообществ в зоне пересечения фитогенных полей *Cotoneaster divaricatus* Rend. Et Wils. и *Viburnum tinus* L., *Laurocerasus lusitanica* L. и *Laurus nobilis* L. наблюдалось ингибирование ростовых процессов. В контроле биометрические параметры листьев значительно превосходили опытные варианты. У других пар видов *Viburnum tinus* L. – *Myrtus communis* L. и *Ilex aquifolium* L. – *Sarcococca humilis* Stapf. при фитогенном взаимодействии наблюдалась противоположная реакция изменения длины листовых пластинок (табл. 1).

Таблица 1

#### Биометрия листовых пластинок декоративных растений при совместном произрастании в садово-парковых сообществах

№ пары	Направление взаимодействия растений	Размеры листовой пластинки, мм			
		В зоне влияния фитогенного поля		Контроль	
		Длина	Ширина	Длина	Ширина
1	<i>C. divaricatus</i> > <i>V. tinus</i>	51,9±0,2	25,9±0,9	60,9±1,5	29,1±0,9
	<i>V. tinus</i> > <i>C. divaricatus</i>	21,0±0,7	14,4±0,5	22,8±0,4	15,1±0,3
2	<i>L. nobilis</i> > <i>L. lusitanica</i>	90,7±2,4	40,1±0,8	100,6±1,7	42,5±0,5
	<i>L. lusitanica</i> > <i>L. nobilis</i>	58,0±2,2	28,4±0,8	80,3±2,3	29,4±0,7
3	<i>M. communis</i> > <i>V. tinus</i>	64,7±2,3	29,0±1,1	51,2±0,9	23,6±0,6
	<i>V. tinus</i> > <i>M. communis</i>	37,0±0,7	12,2±1,2	32,8±0,8	11,8±0,2
4	<i>S. humilis</i> > <i>I. aquifolium</i>	86,5±1,2	51,8±1,6	83,4±1,6	44,4±1,5
	<i>I. aquifolium</i> > <i>S. humilis</i>	54,2±1,2	18,3±0,3	53,6±0,7	17,8±0,3

Примечание: в правой части записи видовых названий растений указан объект формирования фитогенного поля, в левой части – объект фитогенного воздействия.

В 2016 г. активизация ростовых процессов листьев первой генерации изучаемых растений началась в середине февраля – марте. На начальных этапах

вегетации сформировавшиеся листья имели высокий уровень оводненности – 60–90 % (рис. 1А).

При этом достоверные различия опыта и контроля обнаружены только в паре № 1, когда при действии фитогенного поля *C. divaricatus* у листьев *V. tinus* наблюдалось повышение общего содержания воды. Оценка фракционного распределения свободной и связанной воды также выявила более высокую способность осмотически связывать воду *V. tinus* (46 %) в зоне воздействия фитогенного поля.

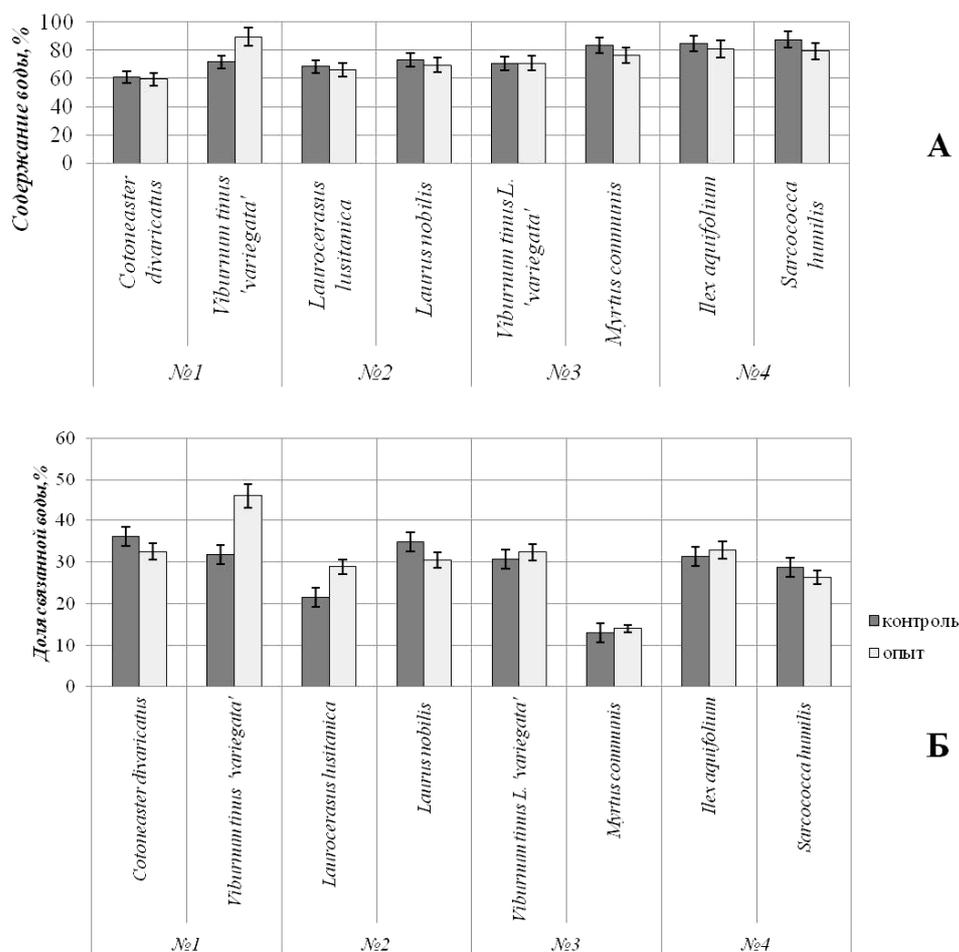


Рис. 1. Общая оводненность листьев растений (А) и фракционный состав воды в листьях объектов в зоне фитогенного влияния в начале вегетации (Б)

Взаимовлияние растений в паре *V. tinus* и *M. communis* не имеет четко выраженных различий контроля и опыта по определяемому физиологическому

параметру и изменяется в пределах 30–33 % от общего содержания воды. Высокий уровень водоудерживающей способности тканей в этот период наблюдался у *C. divaricatus*, *L. nobilis*, *I. aquifolium* и *S. humilis* благодаря значительной фракции связанной воды (Рис. 1Б).

Отбор проб в наиболее благоприятный в условиях Южного берега Крыма (ЮБК) период вегетации (первая половина июня) в 2016 г. происходил при следующих показателях метеорологических факторов: среднесуточная температура воздуха изменялась в пределах 17,8–25,7 °С, относительная влажность воздуха – 66–71 %, при этом сумма атмосферных осадков составила 26,3 мм. Динамика элементов водного режима представлена на рисунке 2.

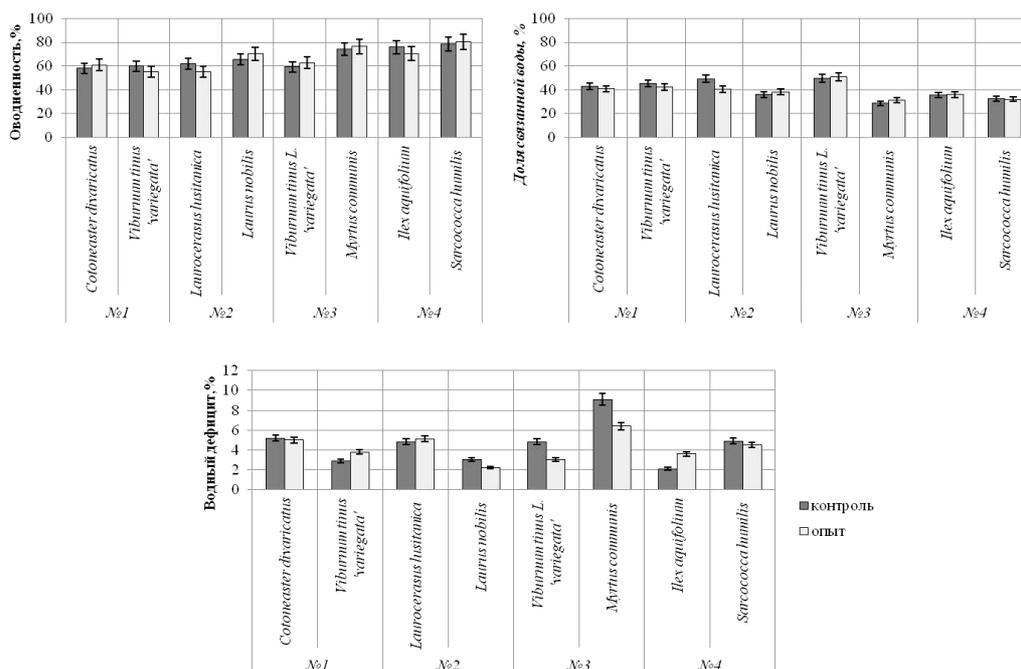


Рис. 2. Показатели водного режима изучаемых растений в оптимальный период вегетации

Общее содержание воды в тканях листьев в целом в этот период было ниже, чем в начале вегетации, фракция связанной воды возросла на 10–12 %. Реальный водный дефицит не превысил 10 %, максимум наблюдался в контрольном варианте у *M. communis*.

Полученные данные свидетельствуют об интенсивном формировании структурных и метаболических приспособлений к аридным условиям культивирования. Достоверная разница по параметрам водного режима отмечена в паре *L. nobilis* и *L. lusitanica*. У *L. nobilis* по общей оводненности; более высокий

уровень содержания воды сопровождался ростом фракции, осмотически связанной, и, как следствие, снижением водного дефицита. В паре *V. tinus* и *M. communis* у обоих видов наблюдается аналогичная тенденция с более высоким уровнем динамики у *V. tinus*.

Третий этап отбора проб был проведен во второй декаде июля, которая в условиях ЮБК характеризуется как наиболее пессимальный период вегетационного цикла. В 2016 г. с 10 по 20 июля среднесуточная температура изменялась в пределах 22,8–23,1 °С, средние показатели относительной влажности воздуха – 54–56 %, минимальные – 35–39 %. При этом в течение 18 предшествующих дней атмосферных осадков не было. В этих условиях оводненность листьев снизилась на 2–13 % по сравнению с показателями оптимального периода, в наибольшей степени это отмечалось у *M. communis* – как в контроле, так и в опыте. Достоверных различий по общему содержанию воды в опытном и контрольном варианте не выявлено (рис. 3). Наиболее высокий уровень оводненности в этот период отмечен у листьев пары *S. humilis* и *I. aquifolium*.

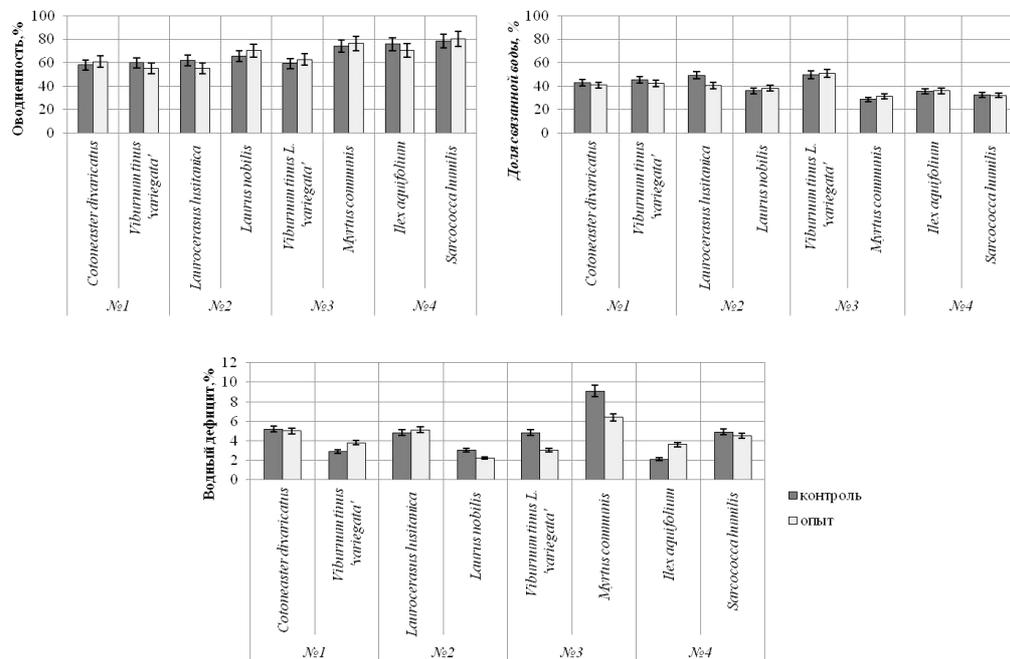


Рис. 3. Водный режим листьев исследуемых растений в экстремальный период вегетации

Фракция связанной воды в период напряжения гидростресса увеличилась на 12–20 %, что свидетельствует о реализации механизмов синтеза низкомолекулярных веществ (осморегуляторов и биологически активных антиоксидантов), способствующих увеличению сосущей силы и возрастанию водоудерживающей способности тканей листа.

Достоверные различия увеличения фракции связанной воды в опыте по сравнению с контролем обнаружены в паре № 2 у *L. lusitanica* и паре № 3 у *M. communis* и *V. tinus*. Водный дефицит возрос до 7–35 %. Максимального уровня он достигает у *M. communis*.

Вариабельность показателей оводненности, по мнению ряда исследователей [14–16], является одним из маркеров засухоустойчивости растений. В таблице 2 представлены коэффициенты вариации общего содержания воды в вегетационной динамике.

По величине варьирования показателя общего содержания воды (V, %) изученные виды растений можно распределить на 3 группы:

- со стабильным уровнем оводненности (V<10 %) – *C. divaricatus*, *V. tinus*, *I. aquifolium* и *S. humilis*;
- лабильным уровнем оводненности (V=10–20 %) – *L. lusitanica*, *L. nobilis* и *M. communis*;
- высоколабильным уровнем общего содержания воды (V>20 %) – *V. tinus* в опытном варианте пары № 3.

Таблица 2

**Вариабельность параметров водного режима синэкологических групп**

№ пары	Виды, формы	Оводненность листьев в вегетационной динамике, % (M)								Коэффициент вариации фракции связанной воды, %	
		Контроль				Опыт				Контроль	Опыт
		IV	VI	VII	V, %	IV	VI	VII	V, %		
1	<i>C. divaricatus</i>	60,9	58,1	56,3	3,9	59,5	60,9	59,2	1,5	27,5	34,5
	<i>V. tinus</i>	71,6	59,8	64,8	9,0	89,5	55,1	62,2	26,4	23,3	6,5
2	<i>L. lusitanica</i>	68,5	61,9	53,4	12,3	65,9	55,2	54,0	11,2	53,4	49,9
	<i>L. nobilis</i>	73,2	65,5	56,7	12,6	69,4	70,2	58,7	9,7	38,2	46,5
3	<i>V. tinus</i>	70,4	59,2	62,4	9,1	70,7	62,8	61,6	7,6	30,6	31,0
	<i>M. communis</i>	83,3	74,1	61,8	14,8	76,2	76,5	63,0	10,7	78,8	79,1
4	<i>I. aquifolium</i>	84,8	75,9	71,1	9,0	80,9	70,5	72,5	7,4	14,9	11,0
	<i>S. humilis</i>	87,5	78,4	75,1	8,0	79,3	80,1	78,7	0,9	33,4	35,3

В целом, проведенные исследования указывают на более стабильный водный режим опытных вариантов по сравнению с контролем (за исключением *V. tinus* в паре № 1). По показателю динамики фракции связанной воды можно выделить *I. aquifolium*, у которого как в начале вегетации, так и во время действия

максимального напряжения гидрометеофакторов летнего периода, вариабельность не превысила 15 %. На рисунках 4 и 5 графически показана вегетационная динамика фракционного состава воды двух контрастных видов изучаемых групп: *I. aquifolium* и *M. communis*.

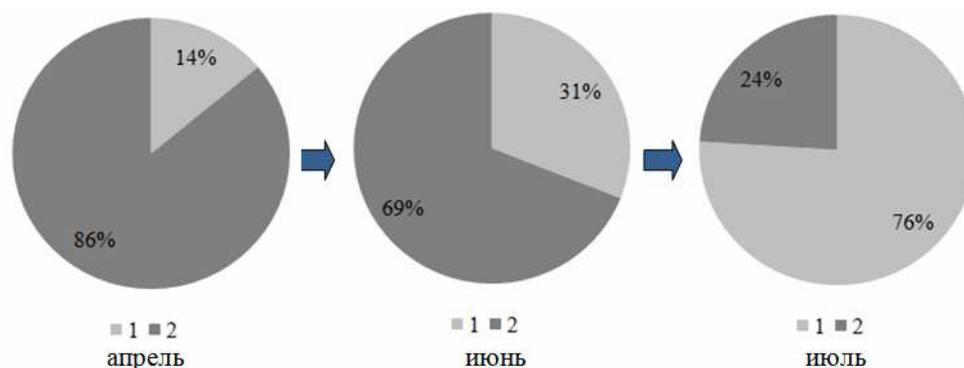


Рис. 4. Вегетационная динамика изменения фракционного состава воды *I. aquifolium* (1 – доля связанной воды, 2 – доля свободной воды)

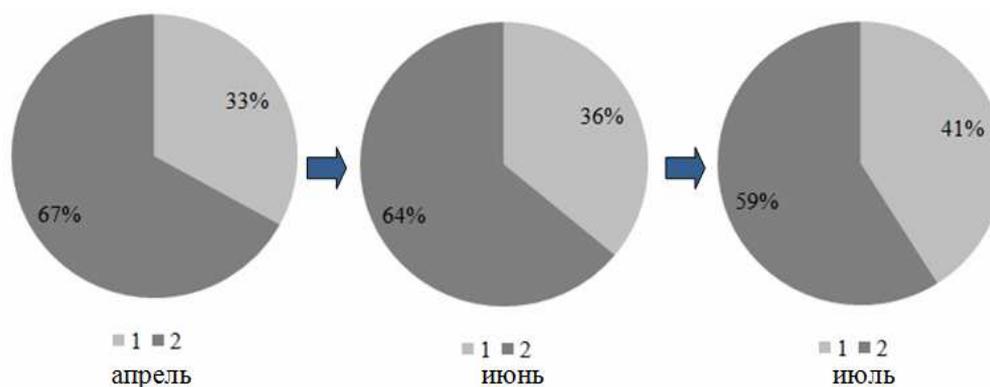


Рис. 5. Вегетационная динамика изменения фракционного состава воды *M. communis* (1 – доля связанной воды, 2 – доля свободной воды)

Таким образом, можно предположить, что изучаемые виды растений характеризуются ксероморфными признаками как в морфологической структуре, так и в метаболизме. В вегетационном цикле происходит постепенное снижение оводненности листьев с увеличением доли осмотически связанной воды. В целом ткани листовой пластинки отличаются высокой водоудерживающей способностью и относительно незначительными показателями реального водного дефицита (до

20 %). На всех этапах вегетации в рассмотренных синэкологических группах отмечена тенденция изменения водного режима тканей листовых пластинок растений различных видов при совместном произрастании в условиях парковых сообществ. Выявлено увеличение засухоустойчивости в парах растений, которые характеризовались интенсификацией роста листовых пластинок при фитогенном взаимодействии. Это позволяет предположить наличие синэкологических механизмов стимулирования адаптивных функций растений различных видов в зоне действия их фитогенных полей, что в конечном итоге обеспечивает повышение устойчивости группы при негативном воздействии факторов внешней среды.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют об интенсивном формировании структурных и метаболических приспособлений к аридным условиям культивирования декоративных растений садово-парковых сообществ. Достоверная разница по параметрам водного режима отмечена в паре *L. nobilis* и *L. lusitanica*. У *L. nobilis* по общей оводненности более высокий уровень содержания воды сопровождается ростом фракции, осмотически связанной, и, как следствие, снижением водного дефицита. Установлено, что в зоне пересечения фитогенных полей наблюдается стабилизация уровня водного режима взаимодействующих растений. У видов, которые при фитогенном взаимодействии проявляли увеличение интенсивности роста листовых пластинок, выявлено повышение уровня засухоустойчивости. Синэкологические механизмы оптимизации водного режима улучшают адаптивные функции растений различных видов в зоне действия их фитогенных полей, что обеспечивает повышение устойчивости группы при негативном воздействии факторов внешней среды.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-29-02596*

### Список литературы

1. Рунова Е. М. Оценка типов садово-парковых насаждений и оптимизация пространственной структуры озелененных территорий г. Братска / Рунова Е. М., Гнаткович П. С. // XIV Международная научно-техническая конференция «Лес-2014» (1 мая – 1 июня 2014, г. Брянск). – Брянск, 2014. – С. 164–167.
2. Мурачева Л. С. Оптимизация пространственной структуры парковых экосистем / Мурачева Л. С., Бедарева О. М. // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Сборник научных трудов по итогам междунар. науч.-технич. конференции. Выпуск 23. – Брянск: БГИТА, 2009. – С. 185–188.
3. Спелых В. В. Антимикробные и ионизирующие свойства древесной растительности под влиянием абиотических факторов: автореф. дисс. на соиск. ученой степени канд. биол. наук / Спелых В. В. – СПб.: 2010. – 39 с.
4. Василенко Н. А. Самоорганизация древесных ценозов / Василенко Н. А. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 171 с.
5. Паркина И. Н. Особенности биологической активности почвы в фитогенном поле березы повислой / Паркина И. Н. // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2006. – № 7 (47). – С. 148–152.

6. Горелов А. М. Роль фитогенного поля в формировании пространственных структур древесного растения / Горелов А. М. // *Modern Phytomorphology*. – 2012. – Т. 1. – С. 137–141.
7. Ипатов В. С. Классификация отношений между растениями в сообществах / Ипатов В. С., Кирикова Л. А. // *Бот. журн.* – 2000. – № 7. – С. 92–100.
8. Молчанов А. А. Методика изучения прироста древесных растений / Молчанов А. А., Смирнов В. В. – М.: Наука, 1967. – 100 с.
9. Генкель П. А. Методические указания по диагностике засухоустойчивости культурных растений / Генкель П. А. – М., 1968. – 24 с.
10. Лищук А. И. Методика определения водоудерживающей способности к обезвоживанию листьев плодовых культур / Лищук А. И. // *Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур: методические рекомендации*. – М., 1991. – С. 33–36.
11. Кушниренко М. Д. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений / Кушниренко М. Д., Печерская С. Н. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 305 с.
12. Кушнеренко М. Д. Адаптация растений к экстремальным факторам увлажнения / Кушнеренко М. Д. – Кишинев: Штиинца, 1984. – 56 с.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия / Лакин Г. Ф. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
14. Effect of pinolene, paclobutrazol and water stress on ornamental shrubs / Rizzitelli S. [et al.] // *Colture Protette*. – 2000. – V. 29. – No 10. – P. 81–89.
15. Sack L. The combined impacts of deep shade and drought on drouth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings / Sack L., Grubb P. J. // *Oecologia (Ecophysiology)* (2002) 131: 175-185. DOI 10.1007/s 00442-002-0873-0.
16. Chunrong C. Responses of moisture parameters of six landscape shrub species in northern China to drought stress / Chunrong C., LiHua M., Liqiang M. // *Journal of Northeast Forestry University*. – 2010. – V. 38. – No 2. – P. 6–8.

## **WATER REGIME OF THE PLANTS OF THE PARK COMMUNITY IN PHYTOGENIC INTERACTION**

***Koba V. P.<sup>1</sup>, Brailko V. A.<sup>1</sup>, Korenkova O. O.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Centre, Yalta, Republic of Crimea, Russia.*

<sup>2</sup>*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

*E-mail: kobavp@mail.ru*

The article is devoted to the study of the water regime of decorative plants that are part of the park communities of the Southern coast of Crimea, with their phytogenic interaction. The water regime is one of the factors determining the features of the functioning and vital state of plants. The greatest impact on this indicator is provided by environmental factors. The high level of lability of the water regime allows it to be used as a test-sign of the change in the general physiological state of the plant under various types of external influence. The urgency of the study is determined by the fact that, a rational combination of plants from the position of their attitude to environmental factors provides an increase in the effectiveness of measures to maintain green spaces. Less obvious, however, quite significant is the problem of synecological interaction of plants of different species in conditions of artificially created communities. The study was carried out with the purpose of studying the features of the water regime of ornamental tree and shrub plants under joint growth in the conditions of park communities. Studies were carried out in the steam communities of the Arboretum Nikitsky Botanical Garden. On the separate courtesans 20 model sites were laid, on which 20 pairs of plants of various types were

identified. As a result of research, in the zone of intersection of phytogenic fields of a number of decorative plants, a certain level of mutual influence of plants of individual species on the water regime of the tissues of the leaf blade was revealed. Thus, in plants that showed an increase in the intensity of growth of leaf blades, an increase in the level of drought resistance was revealed. The obtained data can testify to the effect of synecological mechanisms of stimulation of adaptive functions of decorative plants in the zone of influence of their phytogenic fields, which ultimately ensures an increase in the group's stability under the negative influence of environmental factors.

**Keywords:** water regime, park communities, phytogenic interaction, decorative plants, adaptation, synecological groups.

### References

1. Runova E. M., Gnatkovich P. S. Estimation of types of garden and park plantings and optimization of the spatial structure of greenery in Bratsk. *XIV Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija "Les-2014"* [XIV International Scientific and Technical Conference "Forest -2014"], 164 (Bryansk, 2014) (In Russian)
2. Muracheva L. S., Bedareva O. M. Optimization of spatial structure of park ecosystems. *Lesnoj kompleks: sostojanie i perspektivy razvitija*. [Forest complex: state and prospects of development], **23**, 185 (Bryansk, 2009) (In Russian)
3. Splekh V. V. Antimicrobial and ionizing properties of woody vegetation under the influence of abiotic factors. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.*, 39 (St. Petersburg, 2010) (In Russian)
4. Vasilenko N. A. *Self-organization of tree cenoses*, 171 (Vladivostok, Dal'nauka, 2008). (In Russian)
5. Parkina I. N. Peculiarities of soil biological activity in the phytogenous field of birch poviloi, *Vestnik SamGU – Estestvennonauchnaja serija*, **7 (47)**, 148 (2006) (In Russian)
6. Gorelov A. M. The role of the phytogenic field in the formation of spatial structures of a tree plant. *Modern Phytomorphology*, **1**, 137 (2012).
7. Ipatov V. S., Kirikova L. A. Classification of relations between plants in communities. *Bot. Journal*, **7**, 92 (2000) (In Russian)
8. Molchanov A. A., Smirnov V. V. *Methods of studying the growth of woody plants*, 100 (Moscow, Nauka, 1967) (In Russian)
9. Genkel P. A. *Methodical instructions for the diagnosis of drought tolerance of cultivated plants*, 24 (Moscow, 1968). (In Russian)
10. Lishchuk A. I. A technique for determining the water retention capacity for dehydration of fruit leaves. *Fiziologicheskie i biofizicheskie metody v selekcii plodovyh kul'tur*, 33 (1991) (In Russian)
11. Kushnirenko M. D., Pecherskaya S. N. Physiology of water exchange and drought tolerance of plants. *Chisinau, Shtiinca*, 305 (1991) (In Russian)
12. Kushnirenko M. D. Adaptation of plants to extreme moisture factors. *Chisinau: Shtiinca*, 56 (1984) (In Russian)
13. Lakin G. F. *Biometrics*, 352 (Moscow, Vysshaja shkola, 1990).
14. Rizzitelli S. et al. Effect of pinolene, paclobutrazol and water stress on ornamental shrubs, *Colture Protette*, 29, **10**, 81 (2000).
15. Sack L., Grubb P. J. The combined impacts of deep shade and drought on drowth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings, *Oecologia (Ecophysiology)* (2002) 131: 175-185. DOI 10.1007/s00442-002-0873-0.
16. Chunrong C., LiHua M., Liqiang M. Responses of moisture parameters of six landscape shrub species in northern China to drought stress, *Journal of Northeast Forestry University*, **38, 2**, 6 (2010)

**УДК 502.572:614.84 (477.75)**

## **ПОСЛЕПОЖАРНЫЕ СУКЦЕССИИ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ КРЫМА**

*Кобечинская В. Г., Онищенко Т. С.*

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

Выполнен сравнительный анализ послепожарных сукцессий искусственных и природных сосновых насаждений в предгорных и южнобережных регионах Крыма после низовых пожаров различной интенсивности. На молодых гарях близки показатели по высоте нагара, но количество погибших деревьев выше в два раза среди искусственных насаждений, что обусловлено более интенсивным повреждением ствола (до камбия), т. е. приводятся данные по изменению морфологических показателей древостоев. Кустарниковый ярус искусственных насаждений в предгорной зоне хорошо выражен и обилен. Напротив, в южнобережных фитоценозах он очень слабо развит. Здесь угнетено почти 70 % деревьев. Описана динамика возобновления подроста сосны. В целом, возобновление в естественных насаждениях выше в 6–10 раз по сравнению с искусственными посадками. Определяющие факторы выживания подроста разных возрастных групп – это условия произрастания и климатические факторы. Выявлено отсутствие подроста сосны с 8-летнего возраста независимо от происхождения насаждения из-за интенсивного задернения травостоя, дефицита светового довольствия и высокой сомкнутости главного яруса. Также интенсивно идет формирование кустарникового яруса, но он отличается по флористическому составу с учетом районов исследований. После пожара активизируются сукцессионные процессы и формируются смешанные лиственно-сосновые насаждения в исследуемых климатических зонах. Дана оценка запасов подстилки в разновозрастных горельниках. В искусственных насаждениях объемы накопления подстилки выше в 1,5 раза, но благодаря более благоприятным условиям минерализации (кол-во осадков в 2 раза больше, чем на ЮБК) она достаточно быстро разрушается. Ведущей фракцией в составе подстилки на всех горельниках является хвоя, но в искусственных фитоценозах ее участие более значимо. Второе место занимает фракция шишек, тогда как в природных сообществах ее роль крайне мала, здесь второе место занимает фракция коры. По-видимому, это обусловлено высотой огневого повреждения ствола деревьев. Природные насаждения более уязвимы к огневому воздействию, чем искусственные, из-за соотношения компонентных фракций подстилки, поэтому разложение ее из-за большей сухости климата ЮБК идет медленнее, создаются ее значительные запасы, которые легко подвергаются возгоранию. Поэтому вопросы организации противопожарной охраны на заповедных территориях являются приоритетными для сохранения этих экосистем.

**Ключевые слова:** пожар низовой, сосновые насаждения, жизненность древостоя, численность подроста, запасы подстилки, климатические факторы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Географическая изменчивость характеристик лесных пожаров обусловлена следующими показателями: особенностями распределения осадков (сезонность лесных пожаров), типом растительности, разнообразием лесорастительных условий (различия в интенсивности горения лесов), послепожарными изменениями в сообществе. Однако, при всей своей разрушительной силе, лесной пожар, в то же

время, оказывается лесообразующим фактором, так как на площадях, затронутых его воздействием, развивается комплекс огнестойкой растительности, происходит смена пород, в лесном фонде увеличивают свое присутствие пирогенные породы [1–4 и др.] В результате регулярных лесных пожаров происходит определенная стабилизация структуры лесного фонда в связи с вытеснением теневыносливых пород на светолюбивые, формируются растительные комплексы, более устойчивые к воздействию огня [5]. Масштабы воздействия пожаров на природные экосистемы определяются значительными размерами выгоревших площадей и длительностью восстановления уничтоженных лесных ценозов [6–8]. Одной из важных проблем является оценка эффективности восстановления коренных древостоев на горельниках в связи с динамикой экологических факторов в постпирогенный период.

Сосна крымская относится к деревьям 1 класса горимости и занимает значительные площади (46,7 тыс. га или около 18 %) в составе древостоя природных крымских лесов. Площади лесов искусственного происхождения в Крыму составляют более 76 тыс. га, в их составе насаждения сосны крымской главенствуют – 79,6 %. Поэтому представляет определенный научный интерес провести сравнительный анализ послепожарных сукцессий, происходящих в лесах искусственного и естественного происхождения из сосны крымской в разных климатических зонах – предгорной и южнобережной, с оценкой адаптации этих древостоев, поврежденных огнем при низовых пожарах разной интенсивности.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны горельники разного возраста после низовых пожаров: 3 пробных участка искусственных посадок из сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.) [9], заложенных в сосновом массиве вблизи Симферопольского водохранилища, которое испытывает значительные рекреационные нагрузки и частые палы в предгорной зоне, и 2 учетные площади южнобережных гарей в Оползневском лестничестве (кв. 13, высота над уровнем моря – 150–200 м) Ялтинского природного горно-лесного заповедника (ЯГЛПЗ). Размеры пробных площадей сосновых насаждений, пройденных огнем, в среднем составляют 0,5 га.

Сбор материала осуществлялся по стандартным лесотипологическим методикам с выявлением: высоты древостоя и сомкнутости крон, среднего диаметра и площади поперечного сечения стволов, бонитета, породного состава по ярусам, возобновления древостоя, возраста горельника. Оценивалось санитарное состояние насаждений, высота нагара на стволах, количество погибших экземпляров как молодняка, так и лесообразующих пород; средний возраст подроста, видовой и морфологический состав кустарникового яруса, флористический состав травянистой растительности; фракционный и весовой состав подстилки [4, 10–12]. Возраст горельников и древостоя по квартальным выделам были взяты из лесотаксационных таблиц Государственного казенного учреждения Республики Крым (ГКУ РК) «Северо-западное объединенное лесничество» и в Оползневом лесничестве ЯГЛПЗ. Все полученные данные были обработаны вариационно-статистическими методами [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В наших исследованиях мы ограничились исследованием воздействия только низовых пожаров на сосновые насаждения, т. к. они возникают наиболее часто.

На исследуемой территории вблизи Симферопольского водохранилища были выделены среди искусственных сосновых посадок следующие пробные площади: участок № 1 – старовозрастный горельник (1991 г.), участок № 2 – здесь был устойчивый низовой пожар, который произошел в 2015 г., участок № 3 – здесь выявлен беглый низовой пожар, произошедший в 2010 г.

Проведя сравнительный анализ (таблица 1) состояния древостоя пробных площадей искусственных сосновых насаждений, пройденных огнем в этом районе предгорного Крыма, можно выделить следующие закономерности.

Анализ важнейших таксационных характеристик свидетельствует о том, что наибольшие показатели высоты древостоя и площади поперечного сечения выявлены на участке № 3 с устойчивым низовым пожаром. Наибольшие величины среднего диаметра древостоя отмечены на участке № 1 – старовозрастного горельника. На показатели древостоя оказывают условия местопроизрастания (рельеф, характеристика почвенного покрова) и осуществляемые в лесу хозяйственные мероприятия (удаление больных и засохших деревьев, санитарная рубка и пр.).

Таблица 1

**Характеристика древостоя пробных площадей искусственных сосновых насаждений, пройденных огнем, вблизи Симферопольского водохранилища**

Показатели \ № участка	1	2	3
Возраст древостоя, лет	60	55	55
Возраст горельника, лет	25	1	7
Высота древостоя, м	12-14	13-15	15-16
Средний диаметр, см (min-max)	25 ± 1,25 (17,5-36)	23,3 ± 1,16 (18,4-29,4)	20,5 ± 1,03 (17-24,8)
Сомкнутость древостоя	0,5-0,7	0,4-0,6	0,4-0,7
Бонитет	III	III-IV	III
Площадь поперечного сечения, м/га	9,82 (4,81-20,36)	4,25 (2,6-6,76)	13,2 (9,1-18,81)
Санитарное состояние, %	64,29 (12,5-77)	69,7 (55,2-95,1)	88 (72-100)
Высота нагара, м	-	2,5 (3,5-0,5)	0,5-1,15
Количество погибших экземпляров деревьев	14	10	8

Сомкнутость древостоя – 0,5–0,7, наибольшая – на участке № 1 и № 3, благодаря чему на затененной пологом насаждения почве происходит накопление лесной подстилки, вследствие которой поддерживается плодородие почвы, лучше и обильнее развивается подрост, разнообразнее породный состав кустарникового яруса. Скорость прироста древесины близка на всех пробных площадях, поэтому все насаждения относятся к среднему бонитету III–IV.

Санитарное состояние в целом можно оценить как удовлетворительное на пробных площадях № 1 и № 2. Неудовлетворителен этот показатель на участке № 3, т. к. здесь повреждено более 88 % деревьев. При невысокой величине нагара (0,5–1,15 м) определяющим фактором выступила рекреационная нагрузка, обилие тропиночно-дорожной сети в сочетании с интенсивным уплотнением почвы привели к значительному угнетению древостоя. Коэффициент рекреации здесь достигает 0,4–0,5, т. е. участок находится на четвертой стадии дигрессии, за которой следует распад сообщества. Наибольшее количество погибших деревьев выявлено на участке № 1 (14 экз.), т. к. для оздоровления леса здесь произошла вырубка поврежденного древостоя в прошлые годы. Реконструкции и новых посадок деревьев на этом горельнике не проводилось.

Рассмотрим результаты изучения древостоя (таблица 2) природных сосновых лесов ЯГЛПЗ, выполненные на двух участках в Оползневом лесничестве: пробная площадь № 4 – здесь был устойчивый низовой пожар в 2013 г.; на пробной площади № 5 произошел устойчивый низовой пожар в 2007 г.

Таблица 2

**Характеристика древостоя пробных площадей естественных сосновых насаждений, пройденных огнем, в Оползневском лесничестве в Ялтинском горно-лесном природном заповеднике**

Показатели \ № участка	4	5
Возраст древостоя, лет	60-70	50-60
Возраст горельника, лет	4	10
Высота древостоя, м	12–13	10–12
Средний диаметр, см (min-max)	26 ± 1,4 (20,5-36)	23,3 ± 1,16 (17,5-34,2)
Сомкнутость древостоя	0,3-0,4	0,2-0,3
Бонитет	V-a	V-a
Санитарное состояние, %	54,8 (11,5–60,0)	69,7 (55,2–95,1)
Высота нагара, м	1,8 (2,2–0,8)	2,1 (2,0–1,1)
Количество погибших экземпляров деревьев	5	11

Несмотря на сходные показатели возраста сосны, высота деревьев здесь ниже (10–13 м), чем в искусственных посадках в предгорной зоне. Почти в два раза ниже сомкнутость древостоя, особенно на участке № 5 (0,2–0,3). Это связано с тем, что здесь хорошо выражены световые окна из-за гибели молодняка, поэтому сформировался устойчивый травянистый ярус, его общее проективное покрытие составляет более 50 %.

Особенность климатических условий – частые продолжительные засухи, высокие летне-осенние температуры и близость материнских скальных пород к

поверхности с очень маленьким почвенным профилем способствовали тому, что бонитет древостоя низкий – V-a.

Санитарное состояние в целом этих сообществ можно оценить как удовлетворительное. Количество погибших деревьев на участке № 5 выше в два раза, чем на участке № 4, это подтверждает показатель санитарного состояния (69,7 %) поврежденных деревьев, часть их прекратила рост и погибла, а другая часть угнетена с учетом значительности высоты нагара (2,1 м) на стволах.

Сравнение характеристики древостоя в естественных насаждениях ЮБК и искусственных предгорного Крыма показывает, что сомкнутость и бонитет древостоя более высокий в искусственных посадках. Данные показатели зависят от произрастания сосны крымской в разных экотопических условиях.

Проведя сравнительный анализ динамики возобновления сосны на всех пяти пробных площадях (таблица 3), можно сделать вывод, что на участках № 1–4 начиная с 6–8-летнего возраста возобновление полностью отсутствует. В искусственных насаждениях на участке № 3 его вообще нет из-за интенсивной рекреации и почти полного отсутствия подстилки. Использование данной территории под рекреацию нарушило все элементы лесного биогеоценоза: разрушение лесной подстилки, вытаптывание травянистого покрова, угнетение подлеска и подроста, полное отсутствие возобновления древостоя. Также крайне низкие показатели однолетних всходов – на участке № 1 и № 2. Закономерно отсутствие всех возрастных групп подроста на горельнике 2015 года (уч. № 2). Более значимые показатели – на старовозрастном горельнике (уч. № 1), но из-за интенсивного задернения травостоя, дефицита светового довольствия и высокой сомкнутости главного яруса после 5 лет возобновление сосны также полностью отсутствует. Следовательно, без естественного стимулирования и проведения лесопосадок говорить об устойчивости искусственных насаждений проблематично

**Таблица 3**

**Динамика возобновления древостоя на пробных площадях искусственных и естественных сосновых насаждений, пройденных огнем, в окрестности Симферопольского водохранилища и Ялтинского горно-лесного природного заповедника, экз./га**

№уч. Возраст	1		2		3		4		5	
	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
1 год	1750	82,4	625	100	0	0	8750	72,9	6250	53,2
2–5 лет	375	17,6	0	0	0	0	3250	27,1	3750	31,9
6–8 лет	0	0	0	0	0	0	0	0	1750	14,9
9–10 л.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого:	2125	100	625	100	0	100	12000	100	11750	100

В целом, возобновление в естественных насаждениях выше в 6–10 раз (11750–12000 экз./га) по сравнению с искусственными посадками.

Исследования также выявили, что в естественных сосновых насаждениях Ялтинского горно-лесного природного заповедника на участке № 4 после воздействия огня возобновление сначала возрастает. Эта динамика объясняется тем, что обнажается почва, накапливается много зольных элементов, в результате резко возрастает первичное возобновление, но потом этот показатель резко снижается из-за активизации задернения, и численность особей 2–5 лет падает в 2,5 раза. При 10-летнем пожаре на участке № 5 много однолеток, число 2–3-леток снижается в 2,5 раза, но показатели достаточно выравнены из-за активного воздействия огня и высокого обилия зольности. Более старшего возраста подрост угнетен и погибает.

Анализ возобновления сосны в ЯГЛПЗ на участке № 5 установил, что количество подростка сосны на га меньше, чем на участке № 4, так как на более старом горельнике значительны запасы накопленной подстилки, которые препятствуют формированию подростка, т. к. семена, прорастая на ней, не доходят корешками до земли, зависая на толстой подстилке, что, безусловно, приводит к резкому падению показателей возобновления древостоя [14–16].

При воздействии огня идет уничтожение молодняка и, естественно, погибает все возобновление. Благодаря образованию золы создается благоприятная минерализация подстилки, доступ семян к почве [2].

Поэтому сначала происходит резкий всплеск возобновления, но потом он снижается, поскольку идет активное восстановление травянистого яруса, который вытесняет всходы. Формирование кустарникового яруса также глушит возобновление, в результате происходит замена на сообщества более низкой продуктивности, сосна постепенно выпадает, ее возобновление ослабевает, и активно идет возобновление листопадных растений [4, 17]. Поэтому так губительны пожары для южнобережной экосистемы, ведь в искусственных насаждениях можно посадить сосну, а в естественных заповедных территориях на крутых склонах и пересеченной местности искусственные посадки очень затруднены и дорогостоящие.

Представляет интерес анализ видового спектра деревьев, которые внедряются под полог соснового насаждения. Это позволяет выявить на перспективу смену пород древостоя. Выполненный анализ установил практически полное отсутствие устойчивого возобновления сосны на разновозрастных горельниках в окрестностях Симферопольского водохранилища (рисунок 1).

Исследуя динамику возобновления древостоя пробных площадей в искусственных насаждениях окрестностей Симферопольского водохранилища, можно сделать вывод, что состав его имел смешанный характер. Кроме сосны Станкевича (*Pinus brutia*), включались примеси дуба пушистого (*Quercus pubescens*), клена Стевена (*Acer stevenii*), ясеня узколистного (*Fraxinus angustifolia*), гледичии трехколючковой (*Gleditsia triacanthos*) и ореха грецкого (*Juglans regia*). На первом участке было выявлено наибольшее количество экземпляров всех видов. Лучше всего возобновлялся ясень узколистный – 2000 экземпляров, гледичия трехколючковая и орех грецкий встретились в количестве 250 экземпляров, меньше

всего было выявлено дуба пушистого и клена Стевена – по 125 экземпляров. На втором участке обнаружено наибольшее количество гледичии трехколючковой – 525 экземпляров, также встречался единично орех грецкий и дуб пушистый, экземпляры клена Стевена и ясеня узколистного не были выявлены. На третьем участке возобновление лиственных пород полностью отсутствовало.

Изучив динамику возобновления древостоя в ЯГЛПЗ, было установлено, что в составе древесного яруса сосны единично встречается можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*) высотой до 6–7 м. Также идет активное внедрение дуба пушистого (*Quercus pubescens*), грабинника восточного (*Carpinus orientalis*) и фисташки туполистной (*Pistacia mutica*). По балкам формируются парцелла дубово-грабинниковая с можжевельником колючим (*Juniperus oxcedrus*). Второй древесный ярус выражен слабо, он представлен единично дубом пушистым, сосной крымской и ясенем остроплодным (*Fraxinus oxycarpa*). Из-за гибели молодняка в результате пожара хорошо выражены световые окна, которые активно заселяют грабинник и фисташка туполистная, единично встречается груша лохолистная (*Pyrus elaeagrifolia*) (рисунок 2).

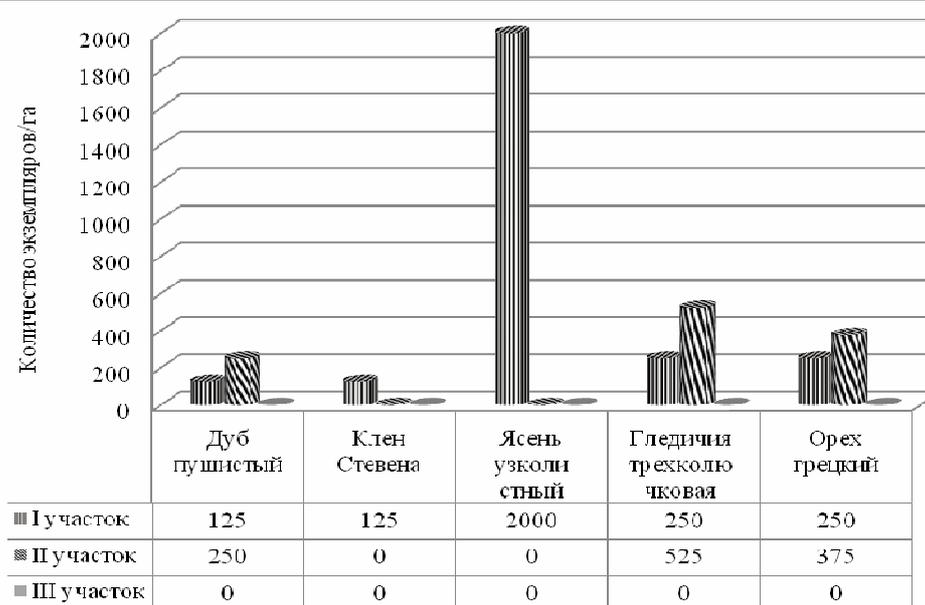


Рис. 1 Показатели возобновления древостоя на пробных площадях в окрестности Симферопольского водохранилища, экз./га

Самое высокое возобновление отмечено для дуба пушистого на обоих участках (3250–5750 экз./га), за ним в убывающем порядке следуют грабинник восточный (1550–2150 экз./га), фисташка и ясень. Значимость возобновления можжевельника высокого и можжевельника колючего крайне низка. После огневого воздействия устойчивого низового пожара на участках ЯГЛПЗ четко прослеживается

наметившаяся смена состава пород коренных сосновых лесов на смешанные лиственно-сосновые леса, где главенствует дуб пушистый [18].

Общее число лиственных пород на участках Ялтинского природного горно-лесного заповедника значительно выше, чем в окрестности Симферопольского водохранилища, и они отличаются по видовому спектру. Лишь дуб пушистый и ясень присутствуют как в естественных, так и в искусственных насаждениях. Самое большое флористическое разнообразие на пробных площадях предгорной зоны в кустарниковом ярусе достигает наивысшей сомкнутости – 0,5 – на старовозрастном горельнике (уч. № 1), причем здесь главенствует бирючина обыкновенная (126 экз./га) и каркас оголенный (23 экз./га), остальные виды не играют существенной роли. Высота кустарникового яруса достаточно значима (86–144 см). Видовой спектр на участке № 2 более низкий, он представлен только двумя видами с невысокой численностью особей. Это обусловлено тем, что горельник однолетний, кустарниковый ярус погиб в огне и его восстановление только началось.

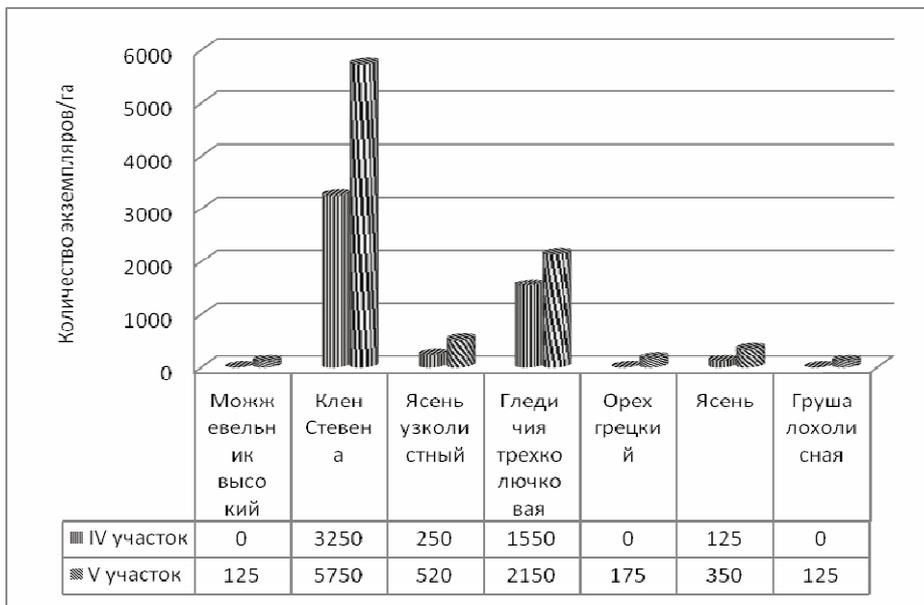


Рис. 2. Показатели возобновления древостоя на пробных площадях в Оползневском лесничестве Ялтинского природного горно-лесного заповедника, экз./га

Кустарниковый и полукустарниковый ярусы на территории ЯГЛПЗ выражены слабо, здесь единично встречаются можжевельник колючий и кизил обыкновенный (*Cornus mas*). Следует отметить, что после пожара кустарниковый ярус лучше восстановился на пробных участках вблизи Симферопольского водохранилища.

Флористическое разнообразие на пробных площадях искусственных посадок в предгорной зоне невысоко. Наименьшая численность видов отмечена на однолетнем горельнике, они представлены преимущественно корнеотпрысковыми

растениями, которые быстро восстанавливают свои позиции после пожара [19]. На старовозрастном горельнике (уч. № 1) и десятилетнем (уч. № 3) флористический состав достаточно близок (34–37 видов), но самый высокий травостой (до 60 см) отмечен на участке № 1. Напротив, на участке № 3 идет его угнетение в связи с высокой рекреационной нагрузкой.

В естественных сосновых насаждениях ЮБК наблюдается активное возобновление травяного покрова. Всего на участке № 4 выявлено 38 видов. Из-за гибели молодняка на этой площадке хорошо выражены световые окна, поэтому достаточно хорошо сформирован травянистый ярус, его общее проективное покрытие составляет 40–50 %. В травяном ярусе доминанты – коротконожка (*Brachypodium rupestre*), чий костеровидный (*Achnatherum bromoides*), дубровник обыкновенный (*Teucrium chamaedrys*), солнцезвезд Стевена (*Helianthemum stevenii*).

На участке № 5 общее проективное покрытие травостоя составляет 30–40 %, здесь выявлено 35 видов. В травяном ярусе доминантами являются иглица понтийская (*Ruscus ponticus*), плевел многолетний (*Lolium perenne*) и овсяница скальная (*Festuca rupicola*).

Низовые пожары характеризуются также горением лесной подстилки. Она представляет собой своего рода биологический фильтр, который способствует проникновению в нижележащие слои почвы более богатого кислородом атмосферного воздуха. Сгорание подстилки способствует повышению аэрации почвы и формированию окислительных процессов. Увеличивается микробиологическая активность почвы, на более богатых почвах интенсивно идут аммонификация и нитрификация [20].

Для определенных этапов возобновительного процесса, в особенности для этапов прорастания семян, образования и формирования всходов, самосева и подростка на общем географическом фоне важное значение имеет подстилка, определяющая благоприятные и неблагоприятные для возобновления древостоя условия среды [10, 20, 21]. В ней аккумулируются довольно большие запасы энергии, азота, зольных элементов и углерода. Она служит материалом для образования гумуса [22].

Являясь первичным субстратом для прорастания семян и жизнедеятельности проростков и сеянцев сосны, в отдельных случаях лесная подстилка может выступать в качестве лимитирующего фактора. Успешность возобновления сосны связывают с мощностью подстилки, ее составом, плотностью, скоростью минерализации, гидротермическим и воздушным режимами [10]. При лесных пожарах происходят значительные изменения условий произрастания деревьев. Сгорают большое количество органического вещества и элементы минерального питания растений. Под влиянием огня повышается микробиологическая активность, зольность и трофность (богатство) почв, однако уменьшается содержание гумуса. С учетом значимости подстилки для лесных экосистем рассмотрим ее фракционный состав и весовые показатели после пожарных сукцессий в сравнении искусственных и природных сосновых насаждениях.

Низовой пожар активизирует процесс опада хвои, что подтверждают наши исследования (таблица 4). Самые высокие величины опавшей хвои выявлены на

участке однолетнего горельника № 2 (38,9 %). После воздействия огня это наиболее высокий показатель в сравнении с другими площадями, вес хвои достигает 33,4 ц/га. Кора на данном участке – не показательна. Самые большие значения накопления шишек – в подстилке на старовозрастном горельнике (уч. № 1), так как он успел уже адаптироваться к огневому воздействию в прошлом. Весовые показатели шишек на участках № 2 и № 3, где прошли низовые пожары разного возраста, близки (18,2–18,3 ц/га). Веточный опад имеет самый большой показатель на свежем горельнике № 2, который по объему достигает 16,12 ц/га, т. е. на этом участке самые высокие фракционные параметры хвои и веточного опада. В целом, самые большие запасы подстилки с учетом повреждения огнем отмечены на свежем горельнике (уч. № 2) – 85,92 ц/га. Причем ведущий вклад по объему составили: хвоя – 33,3 ц/га, ветви – 16,12 ц/га и шишки – 18,16 ц/га.

**Таблица 4**

**Характеристика фракционного состава подстилки на пробных площадях искусственных сосновых насаждений в окрестностях Симферопольского водохранилища, ц/га**

№ участка / Фракционный состав	1		2		3	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
Хвоя	18,3	25,2	33,4	38,9	24,9	51,9
Кора	9,3	12,7	12,7	14,7	8,2	17,0
Шишки	19,2	26,4	18,2	21,1	8,7	18,3
Ветви	13,7	18,8	16,1	18,8	3,8	7,9
Отмершая фитомасса травостоя	12,3	16,9	5,6	6,5	2,3	4,8
Общий вес	72,8	100%	85,92	100%	47,9	100%

На втором месте по запасу подстилки стоит старовозрастной горельник № 1 – 72,83 ц/га, но здесь ведущей группой являются шишки – 19,20 ц/га, что отражает адаптационную пирофитность сосны. На этом участке более благополучно санитарное состояние древостоя, поэтому здесь ниже показатели отпада хвои – 18,3 ц/га по сравнению с другими участками (таблица 4). Следует отметить, что наименьшие объемы подстилки выявлены на участке № 3 – 47,9 ц/га, но это обусловлено не воздействием огня, а в первую очередь интенсивным рекреационным влиянием. Обильная дорожно-тропиночная сеть ведет к ее быстрому разрушению.

Результаты изучения запасов подстилки и ее фракционных компонентов в естественных насаждениях ЯГЛПЗ представлены в таблице 5. На молодом горельнике (уч. № 4) ведущей фракцией по объему является хвоя – 10,5 ц/га (31,6 %), далее следует кора – 9,0 ц/га и ветви – 5,7 ц/га. Общий запас подстилки на участке № 4 составляет 33,3 ц/га, что значительно ниже, чем в искусственных

посадках. Десятилетний горельник (уч. № 5) имеет запасы подстилки почти в два раза больше (62,9 ц/га), где также ведущей во фракции является хвоя, составляющая в общем объеме 41,8 %.

**Таблица 5**

**Характеристика фракционного состава подстилки на пробных площадях  
естественных сосновых насаждений в Оползневском лесничестве Ялтинского  
горно-лесного природного заповедника, ц/га**

№ участка Фракционный состав	4		5	
	Количество	%	Количество	%
Хвоя	10,5	31,6	26,3	41,8
Кора	9,0	27,1	10,6	16,7
Шишки	2,8	8,4	5,2	8,3
Ветви	5,7	17,0	8,9	14,2
Отмершая фитомасса травостоя	5,3	15,8	11,9	19,0
Общий вес	33,3	100%	62,9	100%

Из-за обилия световых окон в сложении главного яруса значимую роль в фракциях подстилки играет отмершая фитомасса травянистого яруса, которая составляет 15,8 ц/га – 19,0 %, тогда как в искусственных насаждениях роль ее крайне низка (ниже в 2–3 раза).

В результате проведенных исследований выявлено, что общий вес подстилки в искусственных насаждениях почти в два с половиной раза больше, чем в природных. Ведущей фракцией является хвоя на всех пробных площадях, но в искусственных насаждениях этот показатель колеблется от 38,9 до 51,9 % от общего объема, в природных сосновых лесах эти величины существенно ниже (31,72–41,77 %). С учетом интенсивности повреждения древостоя второе место в составе подстилки занимают шишки (18,28–21,13 %), а в естественных насаждениях в убывающем порядке во фракционном составе подстилки – кора (16,70–27,14 %).

Следовательно, средневозрастные сосновые леса, естественные и искусственные по происхождению, подвергшиеся огневому воздействию, существенно не нарушают свою структуру при низовых пожарах, особенно беглых.

Следует отметить, что на ЮБК в зоне произрастания естественных сосновых насаждений – большая сухость климата, продуктивность сходного возраста древостоя ниже.

Отличия в составе подстилки искусственных насаждений от естественных можно проследить по запасам коры и шишек. В природных насаждениях объемы коры в подстилке значительно выше, определяющий фактор – высота огневого воздействия. В коре много дубильных веществ, они замедляют процесс

лигнификации подстилки, поэтому разложение ее в природных насаждениях идет медленнее, чем в искусственных. Все это создает большой запас огневых материалов, которые легко подвергаются огню. Следовательно, природные насаждения более уязвимы к огневому воздействию, чем искусственные, с учетом компонентного состава подстилки.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Возраст древостоев искусственных и естественных насаждений близок (55–70 лет), но бонитет в природных насаждениях ЯГЛПЗ ниже (V-a) по сравнению с предгорной зоной (III–IV). На молодых гарях (1–4 года) близки показатели высоты нагара, но количество погибших деревьев выше в два раза среди искусственных насаждений, что обусловлено более интенсивным повреждением ствола (до камбия). Здесь угнетено почти 70 % деревьев. Кустарниковый ярус искусственных насаждений в предгорной зоне хорошо выражен и обилен, напротив, в южнобережных фитоценозах он очень слабо развит.
2. Выявлено отсутствие подроста сосны с 6-летнего возраста независимо от происхождения насаждения. Обилие зональных элементов в первые годы после пожара сначала активизирует возобновление, но одновременно активно развивается и травостой, который, перехватывая элементы питания и светового довольствия, подавляет его. Также интенсивно идет формирование кустарникового яруса, но он отличается по флористическому составу с учетом районов исследований. После пожара активизируются сукцессионные процессы и формируются смешанные лиственно-сосновые насаждения в обоих исследуемых климатических зонах.
3. В искусственных насаждениях объемы накопления подстилки выше в 1,5 раза (47,9–85,9 ц/га), но благодаря более благоприятным условиям минерализации (кол-во осадков в 2 раза больше чем на ЮБК) она достаточно быстро разрушается. Ведущей фракцией в составе подстилки на всех горельниках является хвоя, но в искусственных фитоценозах ее участие более значимо (33,4–51,9 %). Второе место занимает фракция шишек (18,3–26,4 %), тогда как в природных сообществах ее роль крайне мала (8,4–8,3 %), здесь второе место занимает фракция коры (16,7–27,1 %), по-видимому, это обусловлено высотой огневого повреждения ствола деревьев.
4. Природные насаждения более уязвимы к огневому воздействию, чем искусственные, так как разложение подстилки из-за большей сухости климата ЮБК идет медленнее, поэтому создаются ее значительные запасы (33,3–62,4 ц/га), которые легко подвергаются возгоранию.

Список литературы

1. Дылис Н. В. Лесная подстилка в биогеоценотическом освещении / Дылис Н. В. // Лесоводство. – 1985. – № 5. – С. 3–8.
2. Коба В. П. Эколого-биологические особенности роста и репродукции сосны крымской в горном Крыму : Автор. дис. к. б. н. 03.00.05. / Коба В. П. – Ялта: ГНБС, 1993. – 24 с.
3. Кобечинская В. Г. Влияние пирогенного фактора на искусственные сосновые насаждения Симферопольского района / Кобечинская В. Г., Отурина И. П., Апостолов В. Л., Томашевский А. Л. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 1(20). – С.146–153.
4. Майоров М. Е. Изменение нижних ярусов растительности в зависимости от сомкнутости древесного полога в сосняках / Майоров М. Е. – Ботаника (Исследования), – Вып. 11. – Минск: Наука и техника, 1969. – С. 121–135.
5. Телицын Г. П. К оценке экологической опасности лесных пожаров / Телицын Г. П. // Охрана и защита лесов. – Хабаровск, 2008. – С. 44–46.
6. Мартынов А. Н. Основы лесного хозяйства и таксация леса / Мартынов А. Н., Мельников Е. С., Ковязин В. Ф., Аникин А. С., Минаев В. Н., Беяева Н. В. – СПб.: ООО «Лань», 2008. – 372 с.
7. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов / Молчанов А. А. – М.: Наука, 1985. – 488 с.
8. Плугатарь Ю. В. Динамика насаждений сосны крымской в горном Крыму // Лесоводство и агролесомелиорация / Плугатарь Ю. В., Трофименко И. А., Швец Ю. П., Семенюк С. А. – Харьков: Укр.НДИЛГА, 2008. – Вып. 114. – С. 80–84.
9. Евдокименко М. Д. Пирогенные трансформации сосновых лесов в Забайкалье / Евдокименко М. Д. // Лесоведение. – 2008. – № 4. – С. 20–27.
10. Боголюбов А. С. Оценка жизненного состояния леса по сосне / Боголюбов А. С., Буйволово Ю. А., Кравченко М. В. // М.: «Экосистема», 1999. – С. 25–43.
11. Воробьев Д. В. Методика лесотипологических исследований / Воробьев Д. В. – К.: Урожай, 1967. – 367 с.
12. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова: монография / Ена А. В. – Симферополь: Н. Ореанда, 2012. – 232 с.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия / Лакин Г. Ф. – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
14. Исиков В. П. Методы исследования лесных экосистем Крыма / Исиков В. П., Плугатарь Ю. В., Коба В. П. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2014. – 252 с.
15. Санникова Н. С. Низовой пожар как фактор появления, выживания и роста всходов сосны // Обнаружение и анализ лесных пожаров / Санникова Н. С. – Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1977. – С. 110–128.
16. Плугатарь Ю. В. Состояние и динамика сосновых насаждений Крыма / Плугатарь Ю. В., Левчук О. И., Дрозденко С. О., Трофименко И. А. // Лесоводство и агролесомелиорация. – 2007. – Вып. 111. – С. 48–50.
17. Кобечинская В. Г. Изменения зольных элементов, азота подстилки и почв сосновых лесов горного Крыма под влиянием пожаров / Кобечинская В. Г., Головчанская Л. И. // Экологические аспекты охраны природы Крыма. – Киев, 1991. – С. 44–48.
18. Санников С. Н. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса / Санников С. Н., Санникова Н. С. – М.: Наука, 1985. – 149 с.
19. Комарова Т. А. Демутационные сукцессии после пожаров в лесах Дальнего востока / Комарова Т. А. // Лесоведение. – 2008. – № 4. – С. 10–15.
20. Санников С. Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов / Санников С. Н. // Экология. – 1981. – № 6. – С. 23–33.
21. Фирсова В. П. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах / Фирсова В. П. – М.: Наука, 1983. – 164 с.
22. Шпилевская Н. С. Пирогенные дигрессии лесных сообществ (на примере сосновых лесов Белорусского Полесья) / Шпилевская Н. С. – Гомель: Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, 2004. – С. 6–8.

POST-FIRE SUKCESSION IN PINE FOREST OF CRIMEA

*Kobechinskaya V. G., Onischenko T. S.*

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

A comparative analysis of post-fire successions of artificial and natural pine plantations in the foothill and southern coastal regions of the Crimea after bottom fires of different intensity was performed. The young heights are close to the height of the deposit, but the number of dead trees is twice higher among artificial plantations, which is due to more intensive damage to the trunk, i.e. data on changes in morphological parameters of stands are given. Shrub tier of artificial plantations in the foothill zone is well pronounced and abundant. On the contrary, it is very poorly developed in the southern coastal phytocenoses. Almost 70 % of trees are depressed here. The dynamics of renewal of pine undergrowth is described. In general, the renewal in natural plantations is 6–10 times higher than in artificial plantations. The determinants of survival of the adolescent of different age groups are the conditions of growth and climatic factors. The absence of pine undergrowth from the age of 8 years has been revealed, regardless of the origin of the plantation due to intensive seeding of the grass stand, shortage of light content and high closeness of the main tier. Also, the shrub layer is being intensively formed, but it differs in floristic composition, taking into account the areas of research. After the fire, the succession processes are activated and mixed foliar-pine plantations are formed in the investigated climatic zones. The estimation of litter stocks in uneven-aged burners is given. In artificial stands, the volume of litter accumulation is 1.5 times higher, but due to more favorable conditions of mineralization (the amount of precipitation is 2 times greater than on the South Coast), it collapses quite quickly. The leading fraction in the composition of the litter on all burners is needles, but in artificial phytocenoses its participation is more significant. The second place is occupied by the fraction of cones, whereas in natural communities its role is extremely low, here the second place is occupied by the fraction of the cortex. Apparently, this is due to the height of the fire damage to the tree trunk. Natural plantations are more vulnerable to fire impact than artificial ones due to the ratio of the component fractions of the litter, so its decomposition, because of the greater dryness of the climate of the South Coast, is slower, and its considerable reserves are created, which easily burn out. Therefore, the organization of fire protection in protected areas is a priority for the conservation of these ecosystems.

**Keywords:** grassland fire, pine plantations, stand vitality, overgrowth, litter supplies, climatic factors.

**References**

1. Dylis N. V., Forest litter in biogeocenotic illumination, *Lesosvodstvo*, 5 (1985)
2. Koba V. P. *Ecological and biological features of growth and reproduction of Crimean pine in the mountainous Crimea*, 24 (GNBS, 1993)

3. Kobechinskaya V. G., Oturina I. P., Apostolov V. L., Tomashevsky A. L. Influence of the pyrogenic factor on artificial pine plantations of the Simferopol district, *Ecosystems, their optimization and protection*, 1, **20**, 146 (2009).
4. Mayorov M. E. Change in the lower tiers of vegetation, depending on the closeness of the tree canopy in the pine forests, *Botany*, **11**, 121 (Science and Technology, 1969).
5. Telitsyn G. P. *Estimation of the ecological danger of forest fires*, *Protection and Protection of Forests*, 44 (2008).
6. Martynov A. N., Melnikov E. S., Kovyazin V. F., Anikin A. S., Minaev V. N., Belyaeva N. V. *Basics of forestry and forest valuation*, 372 (Lan, 2008).
7. Molchanov A. A. *Hydrological role of pine forests*, 488 (Nauka, 1985).
8. Plugaritar Yu. V., Trofimenko I. A., Shvets Yu. P., Semenyuk S. A. Dynamics of plantations of Crimean pine in the mountainous Crimea, *Forestry and agroforestry*, **114**, 80 (2008).
9. Evdokimenko M. D., Pyrogenic Transformations of Pine Forests in Transbaikalia, *Lesovedenie*, **4**, 20 (2008).
10. Bogolyubov A. S., Buivolov Yu. A., Kravchenko M. V. Assessment of the state of the forest according to the pine, *Ecosystem*, 12, (1999).
11. Vorobiev D. V. *Methods of forest typological studies*, 367 (Harvest, 1967).
12. Ena A. V. *Natural flora of the Crimean peninsula: monograph*, 232 (N. Oreanda, 2012).
13. Lakin G. F., *Biometrics*, 343 (Higher School, 1978).
14. Isikov V. P., Plugaratar Yu. V., Koba V. P. *Methods of studying forest ecosystems in Crimea*, 252 (ARIAL, 2014).
15. Sannikova N. S. Ground fire as a factor in the appearance, survival and growth of pine shoots, *Detection and analysis of forest fires*, 110 (Institute of Forest and Wood, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1977).
16. Plutogor Yu. V., Levchuk O. I., Drozdenko S. O., Trofimenko I. A. State and dynamics of pine plantations of Crimea, *Forestry and agroforestry*, 111, 48 (2007).
17. Kobechinskaya V. G., Golovchanskaya L. I. Changes in ash elements, nitrogen litter and soil of pine forests of the mountainous Crimea under the influence of fires, *Ecological aspects of nature conservation in the Crimea*, 44 (1991).
18. Sannikov S. N., Sannikova N. S. *Ecology of natural renewal of pine under forest canopy*, 149 (Nauka, 1985).
19. Komarova T. A. Demutational successions after fires in the forests of the Far East, *Lesovedenie*, **4**, 10 (2008).
20. Sannikov S. N. Forest fires as a factor in the transformation of the structure, renewal and evolution of biogeocenoses *Ecology*, **6**, 23 (1981).
21. Firsova V. P. *Soil conditions and features of the biological cycle of substances in mountain pine forests*, 164 (Nauka, 1983).
22. Shpilevskaya N. S. Pyrogenic digressions of forest communities (on the example of pine forests of Belorussian Polissya), 6 (Gomel state. university F. Skorina, 2004).

**УДК 159.91:612.821:159.923**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕРТ ЛИЧНОСТИ В ПСИХОГЕНЕТИКЕ: ФАКТЫ И ГИПОТЕЗЫ**

*Конарева И. Н.*

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

Рассматривается проблема изучения генетических основ индивидуальных различий индивидуума. Обосновывается применение методов психогенетики для изучения черт личности. Перечисляются различные направления, используемые для выявления молекулярно-генетических маркеров психологических свойств: анализ вклада полиморфизмов генов основных нейромедиаторных систем мозга, проведение полногеномного анализа ассоциаций сложных признаков (GWA) и анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs), изучение межгенного взаимодействия. Приводятся примеры таких исследований и называются возможные гены-кандидаты. Описана концепция эндофенотипа, опосредующая путь генов к поведению. Указан ряд требований к используемому психодиагностическому инструментарию.

**Ключевые слова:** психогенетика, черты личности, молекулярная генетика, генетический полиморфизм, нейромедиаторы, гены-кандидаты, эндофенотип, вопросы.

Вопрос изучения относительного влияния наследственных и средовых факторов на индивидуально-психологические свойства человека, в частности темперамента и личности, является одним из самых длительных и спорных в интеллектуальной истории. Хотя современные исследования подчеркивают совместное влияние генов и факторов окружающей среды на формирование индивидуальных черт, неоднозначность их взаимодействия представляет собой довольно сложную область исследований [1, 2].

Понятие «личность» обычно описывает те характеристики индивидуума, которые учитывают стойкие паттерны эмоций, мыслей и поведения. Индивидуальные различия в поведенческих predispositions (называемых личностными чертами) относительно стабильны, рано проявляются в онтогенезе, имеют нормальное распределение в популяции. Следовательно, могут быть результатом взаимодействия генетических вариаций со средовыми факторами. Направление поиска генетических основ личностных черт начало развиваться в поведенческой генетике задолго до эпохи генотипирования, в дополнение к традиционной стратегии изучения лиц с психическими расстройствами. В настоящее время общепризнано, что черты личности имеют наследуемый компонент и вариация личностных качеств на 30–60 % объясняется генетическими влияниями [цит. по: 1].

Результаты исследований поведенческой генетики, демонстрирующие высокую наследуемость (до 60 %) личностных качеств, стимулировали поиск конкретных генов-кандидатов [1]. Однако попытки разгадать эти генетические влияния на молекулярном уровне, начатые в 1990-е годы с помощью метода ассоциаций генетических маркеров с чертами личности, оцененными с помощью вопросников, оказались трудноверифицируемыми [1–5], что мотивировало исследователей обратиться и к другим методам генетического анализа [2]. *Цель данной работы* – провести ретроспективный анализ литературы об исследованиях возможных молекулярно-генетических маркеров личностных черт.

Исходным моментом в исследовании генетического субстрата личностных черт является изучение геномных вариантов, оказывающих существенное влияние на функционирование нейротрансмиттерных систем мозга, т. е. генов, кодирующих ферменты, транспортеры и рецепторы моноаминергических систем, потому что несколько теорий личности постулирует биохимическую основу для основных черт (например, теория личности Клонингера). Наиболее вероятными генами – кандидатами на роль генетических маркеров личностных черт называются различные полиморфизмы гена транспортера серотонина (5-НТТ, SLC6A4) и гена рецептора дофамина DRD4. Другие менее изученные гены-кандидаты – это ген моноаминоксидазы А (MAOA), ген рецептора дофамина D2, гены рецептора серотонина 5-НТ2с, НТ2а и ген тирозингидроксилазы [6].

Так, полиморфизм 5-НТТLPR определяет транскрипционную активность гена 5-НТТ. Короткий вариант полиморфизма 5-НТТLPR снижает эффективность транскрипции промотора гена 5-НТТ, что приводит к уменьшению экспрессии 5-НТТ и поглощению 5-НТ. Вклад вариативности 5-НТТLPR в индивидуальные фенотипические различия в личностных чертах был изучен в двух независимых исследованиях популяционной и семейной генетики. Оценки тревожности и других личностных черт были оценены с помощью вопросников «Большая пятерка» П. Коста, Р. МакКрае (NEO-PI-R) и 16 PF Кэттела.

Лица с одной или двумя копиями короткого варианта 5-НТТLPR (группа S) имели значительно более высокий уровень нейротизма, определяемый как склонность к отрицательной эмоциональности и включающий тревожность, враждебность и депрессию, чем гомозиготные по длинному аллелю (группа L), как в целом по выборке, так и между sibсами. Лица с генотипом 5-НТТLPR S также характеризовались меньшими оценками по шкале «доброжелательность» NEO-PI-R. Кроме того, у испытуемых группы S были больше баллы по шкале «тревожность» вопросника 16 PF, связанной с нейротизмом NEO-PI-R. Комбинированные данные двух исследований подтвердили достоверную связь между аллелем S и более высоким уровнем нейротизма по NEO-PI-R как у отдельных лиц, так и внутри семей, на уровне 3–4 % от общей дисперсии (причем у женщин эта связь была сильнее) [7].

Размеры эффектов для ассоциаций 5-НТТLPR с чертами личности, которые были сопоставлены в двух выборках, показывают, что этот полиморфизм оказывает умеренное влияние на рассмотренные поведенческие черты. Таким образом, данные результаты согласуются с мнением ряда ученых, что влияние одного общего

полиморфизма на непрерывно распределенные признаки, вероятно, будет у людей относительно небольшим [1].

Несмотря на ряд установленных закономерностей, некоторые данные явились неоднозначными. Так, одни исследователи находили связь между полиморфизмом гена – транспортера серотонина (5-HTTLPR) и чертами, связанными с тревожностью, такими как «избегание вреда» вопросника Клонингера, а многие другие не верифицировали репликации этих ассоциаций. Относительно генетической природы самого конструкта «нейротизм» также отмечен ряд расхождений: оценки по шкале «нейротизм» вопросника Айзенка EPQ не имели значимой связи с генотипом 5-HTTLPR, а нейротизм, определяемый по вопроснику NEO, демонстрировал значимый генетический эффект [8].

Система церебрального серотонина (5-НТ) является наиболее широко распространенной нейротрансмиттерной системой в головном мозге. Нейроны серотонинергического пути диффузно проектируются в различные области головного мозга (например, в кору, амигдалу и гиппокамп). В дополнение к своей роли нейротрансмиттера 5-НТ является важным регулятором морфогенетической активности в раннем развитии мозга, а также участвует в пролиферации, дифференциации и синаптогенезе клеток у взрослых [1].

Влияние 5-НТ на выраженность черт личности, принадлежащих к тревожному ряду, объясняют его экспрессией в мозговые структуры, являющиеся центральными для эмоционального реагирования. Так, индивидуумы с одной или двумя копиями короткой аллели SLC6A4 проявляли большую нейронную активность амигдалы согласно функциональной магнитно-резонансной томографии в ответ на пугающие стимулы по сравнению с лицами, гомозиготными по длинной аллели [9].

Считается, что аллельная вариабельность функциональной экспрессии гена 5-НТТ играет критическую роль в синаптической пластичности, создавая тем самым основу для выражения сложных признаков и связанного с ними поведения в течение всей жизни. Более того, генетически обусловленная вариация 5-НТТ в сочетании с другими наследственными факторами может способствовать этиопатогенезу и появлению расстройств аффективного спектра, возникающих из-за компенсаторного развития мозга [1].

Другим широко изученным геном – кандидатом на связь с личностными чертами является ген рецептора дофамина D4 (DRD4). Этот специфический полиморфизм был выбран исследователями потому, что DRD4 экспрессируется в структурах лимбической системы и дофамин играет важную роль в мозговой системе вознаграждения. Цукерман (1985) и Клонингер (1987) предположили существование связи между личностной чертой «поиск новизны» и генетическим полиморфизмом в передаче дофамина, но ранние работы такую связь не обнаружили [цит. по: 1]. Две независимые группы ученых Бенджамина и Эбштейна в 1996 году опубликовали работы, демонстрирующие связь между высокими баллами по шкалам «поиск новизны» вопросника TPQ, «экстраверсия» вопросника EPQ Айзенка у здоровых добровольцев и аллелью с семью повторами DRD4 (7R). Однако позже Munafò и соавт. (2008) в результате мета-анализа пришли к выводу, что ген DRD4 (причем полиморфизм C-521T, а не полиморфизм VNTR) может быть

ассоциирован с поиском новизны и импульсивностью, но не с экстраверсией, объясняя до 3 % фенотипической дисперсии черт, связанных с поведением приближения [10].

Comings и коллеги (2000) выявили, что ген DRD4 также достоверно связан с баллами по шкале «самотрансцендентность». Наибольшие оценки были у тех лиц, которые характеризовались наличием аллеля с 4 повторами и больше. Эту ассоциацию объяснили функцией возможной высокой концентрации рецептора дофамина D4 в лобных областях коры головного мозга [11].

После клонирования гена рецептора дофамина D4 (DRD4) в 1991 году были предприняты различные попытки идентификации психических нарушений, связанных с этим геном, таких как шизофрения и биполярное расстройство [цит. по: 1]. В свою очередь в исследованиях на животных изучался фенотип соответствующей мыши нокаута. Мутанты меньше исследовали центр открытого поля, проводили больше времени в темном ящике и больше времени готовились для выхода из него, медленнее приближались к новому объекту. Авторы пришли к выводу, что такое поведение нокаута отражает снижение исследовательского поведения, связанного с поиском новизны [цит. по: 3].

Большинство работ молекулярной генетики, которые связаны с чертами личности, фокусируются на изучении локусов с одним геном без учета генных взаимодействий, хотя считается, что эпистаз (т. е. межгенное взаимодействие) играет важную роль в поведенческих фенотипах [1].

В исследовании Szekely и соавт. (2004) на выборке здоровых европейцев наблюдали достоверное взаимодействие DRD4 VNTR (11p) × 5-HTTLPR (17q) с чертой «избегание вреда» Клонингера. Подгруппа лиц с *ss* 5-HTTLPR и DRD4 (7R) показала более высокий средний балл по этой шкале [12].

Исследование Reuter и соавт. (2006) обеспечило первое эмпирическое обоснование в поддержку молекулярной генетики для теории чувствительности к подкреплению Дж. Грея (Reinforcement Sensitivity Theory). Целью исследования было проанализировать взаимодействие между двумя локусами генов: полиморфизм рецептора дофамина D2 (DRD2 *TaqIA*) и полиморфизм катехол-О-метилтрансферазы (COMT Val158Met). Оба полиморфизма связаны с активностью системы дофамина (DA). Их достоверное взаимодействие DRD2 × COMT выявлено для шкалы BAS (чувствительность к условным стимулам, связанным с вознаграждением или отсутствием сигналов наказания). Высокие баллы по шкале BAS наблюдались, если активность катехолического фермента и плотность D2 рецепторов как индикаторы двух полиморфизмов были в определенном соотношении: Val-/A1- (низкая активность фермента и высокая плотность рецептора) или Val+/A1+ (высокая ферментативной активности и низкая плотность рецептора) [13].

Клонингер постулировал низкие уровни DA для лиц с высоким поиском новизны, т. е. низкий уровень DA обеспечивает мотивацию к поиску (Cloninger, 1987). Однако дискуссия о том, связаны ли черты симптомокомплекса «положительная эмоциональность» (к которому относится и поиск новизны) с низкой или высокой активностью DA, все еще продолжается, и полученные

результаты исследований неоднозначны. Фактическое количество DA может быть рассмотрено только в предпосылке, что либо высокая активность фермента COMT приводит к низким уровням DA, либо что активность фермента COMT адаптирована к определенному количеству DA. Также можно предположить, что высокая плотность рецепторов уже является адаптацией к низким скоростям синтеза DA и высокой активности катаболических ферментов. Это так называемая «гипотеза адаптации». Возможно и то, что активность фермента COMT сама по себе не дает точной информации об уровне DA. Из-за того, что COMT не является единственным фактором, влияющим на катаболизм DA, следует учитывать и активность моноаминоксидазы (MAO). Не исключено, что COMT и MAO взаимодействуют для поддержания оптимального уровня активности DA [13].

Относительно недавние технические достижения позволили проводить исследования в области генома методами полногеномного анализа ассоциаций сложных признаков (genome-wide association, GWA). Однонуклеотидные полиморфизмы (single nucleotide polymorphisms, SNP) тестируются систематически по всему геному для нахождения связи с определенным признаком, что позволяет идентифицировать ранее неизвестные гены, связанные с целевым признаком. Этот подход считается «без гипотез», поскольку не рассматривается функциональное значение генов.

Как и в предыдущих исследованиях поиска генетических маркеров личностных черт, ранние свидетельства были неоднозначны. Van den Oord и соавторы (2008) обнаружили возможную связь между вариантами в гене MAMDC1 и нейротизмом по вопроснику Айзенка, а Shifman и коллеги (2008) – ассоциацию между геном PDE4D и нейротизмом в одной из выборок, но не смогли продублировать ее в других выборках. Terracciano и соавторы (2010) нашли возможные ассоциации с генами для всех пяти шкал вопросника «Большая пятерка»: «нейротизм» с SNAP25 (rs362584), «экстраверсия» с BDNF, CDH13 и CDH23, «открытость к опыту» с CNTNAP2 (rs10251794), «добросовестность» с CLOCK (rs6832769) и «добросовестность» с DYRK1A (rs2835731). В итоге исследователи предположили, что на наследуемость нейротизма влияют многие локусы, находящиеся в неравновесии по сцеплению (наследуются совместно), т. е. биологическая основа эмоциональных расстройств чрезвычайно сложна. «Отсутствие наследственности» наблюдалось почти во всех сложных чертах [14, 15].

Verweij и соавт. (2010) на выборке австралийцев европейского происхождения определили некоторые общие генетические варианты (группы сцепления), ассоциированные с индивидуальными различиями черт личности по вопроснику Клонингера. Так, один из лучших выявленных SNP (rs10176705) для черты «поиск новизны» был расположен интронно гену NRXN1, который ранее демонстрировал участие в когнитивной активности и в некоторых нейропсихиатрических расстройствах, включая шизофрению, аутизм и никотиновую зависимость. SNP (rs7630091), ассоциированный с чертой «предотвращения вреда» (в подгруппе женщин), был интронный к ROBO-2, ранее предположительно показывающий связь с шизофренией, а SNP (rs17391552) был интронный к MCTP1, который предположительно связан с биполярным расстройством. Кроме того, SNP

(rs8040360), найденный для черты «зависимость от награды» у женщин, был близкий к GABRG3, который ранее показал тенденцию к связи с алкогольной зависимостью [3].

Возможность использования подхода GWA к изучению психологических черт личности Penke и коллеги (2007) обосновывают с помощью эволюционной генетической теории. Они утверждают, что личностные черты, вероятней всего, находятся под сбалансированным отбором гетерогенной окружающей среды (т. е. испытывают различное селективное давление в разных средах) и, следовательно, подвержены влиянию ограниченного числа общих генетических вариантов среднего эффекта, которые можно выявить методом GWA [16].

Verweij и соавт. (2010) считают, что вариабельность личностных черт, вероятно, будет поддерживаться механизмом, отличным от сбалансированного отбора. Одной из возможностей является механизм «избирательного нейтралитета», описанный Penke и коллегами (2007), когда индивидуальные различия практически не влияют на приспособленность в различных средах. Другим возможным механизмом сохранения генетических вариаций является баланс отбора мутаций. В этом случае появление новых мутаций уравнивается «очищающей» селекцией, что устраняет вредные мутации. Временная задержка очищающего отбора означает, что все люди несут нагрузку умеренно вредных рецессивных мутаций, которые еще предстоит элиминировать путем отбора. Вариации черт соответствуют вариации мутационной нагрузки. Ожидается, что на черты личности при балансе отбора мутаций будут влиять очень многие редкие генетические варианты малого эффекта [16]. Однако неясно, как мутационная нагрузка может проявляться в чертах личности, поскольку они обычно не рассматриваются в контексте хороших или плохих результатов, в отличие от умственных функций. Тем не менее эта гипотеза не противоречит результатам GWA, так как такие исследования не способны обнаруживать редкие генетические варианты малого эффекта, которые могут играть существенную роль в чертах личности [3].

Таким образом, исследования GWA успешно выявили некоторые генетические варианты, лежащие в основе признаков ряда болезней и сложных психических расстройств, включая шизофрению, биполярное расстройство, аутизм и др. Однако, несмотря на высокую наследуемость этих признаков и расстройств, выявленные генетические варианты имели очень небольшой эффект (менее 1 % от дисперсии), а совокупный эффект всех отдельных вариантов в большинстве случаев составлял лишь несколько процентов от дисперсии признаков, большинство же связей не смогли воспроизвести в последующих работах. Такие небольшие размеры эффекта ограничивают прогностическое, диагностическое и терапевтическое использование SNP-маркеров. Применение метода GWA требует гораздо более крупных выборок для идентификации полиморфизмов, чем ожидалось в исследованиях генетических ассоциаций [3].

Концепцию эндофенотипа, которую Готтесман и Шилдс (Gottesman and Shields) открыли в 1972 году в мире генетики насекомых, быстро адаптировали для использования в психиатрической генетике в качестве концепции, которая опосредует путь генов к поведению [17]. Концепция эндофенотипа облегчает

исследование сложных признаков или заболеваний, на проявление которых влияют многие структурные гены и многие факторы окружающей среды: перинатальные и постнатальные. Эндофенотип – это генетически обусловленный показатель, связанный с поведенческими (психологическими) признаками в норме и при психических нарушениях, рассматривается как промежуточное звено между действием гена и его проявлением на уровне поведения. Считается, что эндофенотип контролируется меньшим количеством генов, чем целевой признак нормативной функции или психического расстройства, поэтому его гены можно установить. В результате исследуется модель «гены – эндофенотип – целевой признак», модификации которой включают дополнительные компоненты и связи между ними, тем самым расщепляя генетические влияния [18].

Отметим, что к диагностическому инструментарию выявления личностных черт, анализируемых в дальнейших психогенетических исследованиях, выдвигается несколько требований. Для определения относительно небольшого генетического влияния требуется стандартизированная оценка личностных свойств, которые характеризуются высокой надежностью повторных измерений, устойчивостью во времени и в структуре факторов, выявляемых для разных популяций и культур, а также наличием корреляций между самооценкой черт и их оценкой экспертами. Так, Munafó и коллеги (2005) выявили влияние используемого диагностического инструмента на результаты исследований генетических ассоциаций с чертами личности. В метаанализе 24 исследований по гену транспортера серотонина и связанными с тревожностью личностными чертами они обнаружили достоверное различие между группами *S/S* и *L/L* по выраженности черты «избегание вреда» согласно вопроснику TCI/TPQ, а по уровню нейротизма вопросника NEO различий не было выявлено [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически все исследования в области поиска биологических основ личности поддерживают идею о том, что есть существенный наследуемый компонент черт темперамента и личности, как правило, составляющий от 30 до 60 % наблюдаемых вариаций. Новые технологии (например, анализ целой последовательности генома) и новые статистические подходы, позволяющие объединять различные выборки, будут способствовать еще лучшему пониманию генетической структуры сложных признаков, каковыми являются личностные черты.

Ключевой задачей таких исследований будет разработка технологий генотипирования и статистических подходов для количественной оценки нагрузок мутаций в геноме. Сама модель исследования будет состоять из иерархических компонентов: нижний уровень составят возможные варианты генотипа, средний уровень – физиологические переменные и верхний уровень – интересующие черты личности. Все компоненты в систему интегрирует их определенная генетическая обусловленность.

*Настоящая работа выполнена при поддержке Программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения*

высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Поддержка академической мобильности работников на заявительной основе – ПМР» в ФГБНУ «Психологический институт Российской академии образования»

### Список литературы

1. Molecular Genetics and the Human Personality. Eds. J. Benjamin, R. P. Ebstein, R. H. Belmaker. – Washington, DC: American Psychiatric Publishing, 2002. – 377 p.
2. Казанцева А. В. Молекулярно-генетические исследования свойств личности: от анализа генов-кандидатов к результатам полногеномных анализов ассоциаций / А. В. Казанцева, С. Б. Малых, Э. К. Хуснутдинова / В книге: Геномика поведения: детское развитие и образование / Под ред. С. Б. Малых, Ю. В. Ковас, Д. А. Гайсиной. – Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2016. – 442 с.
3. Verweij K. J. H. A genome-wide association study of Cloninger's temperament scales: Implications for the evolutionary genetics of personality / K. J. H. Verweij, B. P. Zietsch, S. E. Medland, S. D. Gordon, B. Benyamin, D. R. Nyholt, B. P. McEvoy, P. F. Sullivan, A. C. Heath, P. A. F. Madden, A. K. Henders, G. W. Montgomery, N. G. Martin, N. R. Wray // Biological Psychology, 2010. – Vol. 85. – P. 306–317.
4. Алфимова М. В. Личностные черты, управляющие функции и генетические особенности метаболизма моноаминов / М. В. Алфимова, В. Е. Голимбет, М. С. Егорова // Психология. Журнал высшей школы экономики, 2009. – Т. 6, № 4. – С. 24–41.
5. Колесникова Л. И. Гены нейромедиаторных систем и психоэмоциональные свойства человека: серотонинергическая система / Л. И. Колесникова, В. В. Долгих, А. С. Гомбоева // Бюллетень ВШНЦ СО РАМН, 2011. – № 5 (81). – С. 212–215.
6. Savitz J. B. Genetic variants implicated in personality: a review of the more promising candidates / J. B. Savitz, R. S. Ramesar // American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics, 2004. – Vol. 131B. – P. 20–32.
7. Lesch K. P. Association of anxiety-related traits with a polymorphism in the serotonin transporter gene regulatory region / K. P. Lesch, D. Bengel, A. Heils, S. Z. Sabol, B. D. Greenberg, S. Petri, J. Benjamin, C. R. Müller, D. H. Hamer, D. L. Murphy // Science, 1996. – Vol. 274 (5292). – P. 1527–1531.
8. Munafò M. R. 5-HTTLPR genotype and anxiety-related personality traits: a meta-analysis and new data / M. R. Munafò, N. B. Freimer, W. Ng, R. Ophoff, J. Veijola, J. Miettunen, M. R. Järvelin, A. Taanila, J. Flint // American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics, 2009. – Vol. 150B, No. 2. – P. 271–281.
9. Hariri A. R. Serotonin transporter genetic variation and the response of the human amygdala / A. R. Hariri, V. S. Mattay, A. Tessitore, B. Kolachana, F. Fera, D. Goldman, M. F. Egan, D. R. Weinberger // Science, 2002. – Vol. 297, No. 5580. – P. 400–4003.
10. Munafò M. R. Association of the dopamine D4 receptor (DRD4) gene and approach-related personality traits: Meta-analysis and new data / M. R. Munafò, B. Yalcin, S. A. Willis-Owen, J. Flint // Biological Psychiatry, 2008. – Vol. 63, No. 2. – P. 197–206.
11. Comings D. E. The DRD4 gene and the spiritual transcendence scale of the character temperament index // D. E. Comings, N. Gonzales, G. Saucier, J.P. Johnson, J.P. MacMurray // Psychiatric Genetics, 2000. – Vol. 10. – P. 185–189.
12. Szekely A. Human personality dimensions of persistence and harm avoidance associated with DRD4 and 5-HTTLPR polymorphisms / A. Szekely, Z. Ronai, Z. Nemoda, G. Kolmann, J. Gervai, M. Sasvari-Szekely // American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics, 2004. – Vol. 126B, No. 1. – P. 106–110.
13. Reuter M. Molecular genetics support Gray's personality theory: the interaction of COMT and DRD2 polymorphisms predicts the behavioural approach system / M. Reuter, A. Schmitz, P. Corr, J. Hennig // International Journal of Neuropsychopharmacology, 2006. – Vol. 9. – P. 155–166.
14. van den Oord E. J. Genomewide association analysis followed by a replication study implicates a novel candidate gene for neuroticism / E. J. van den Oord, P. H. Kuo, A. M. Hartmann, B. T. Webb,

- H. J. Möller, J. M. Hettema, I. Giegling, J. Bukszár, D. Rujescu // Archives of General Psychiatry, 2008. – Vol. 65, No. 9. – P. 1062–1071.
15. Terracciano A. Genome-wide association scan for five major dimensions of personality / A. Terracciano, S. Sanna, M. Uda, B. Deiana, G. Usala, F. Busonero, A. Maschio, M. Scally, N. Patriciu, W. M. Chen, M. A. Distel, E. P. Slagboom, D. I. Boomsma, S. Villafuerte, E. Sliwerska, M. Burmeister, N. Amin, A. C. Janssens, C. M. van Duijn, D. Schlessinger, G. R. Abecasis, P. T. Jr. Costa // Molecular Psychiatry, 2010. – Vol. 15, No. 6. – P. 647–656.
  16. Penke L. The evolutionary genetics of personality / L. Penke, J. J. A. Denissen, G. F. Miller // European Journal of Personality, 2007. – Vol. 21, No. 5. – P. 549–587.
  17. Gottesman I. I. The endophenotype concept in psychiatry: etymology and strategic intentions / I. I. Gottesman, F. R. C. Gould // American Journal of Psychiatry, 2003. – Vol. 160, No. 4. – P. 636–645.
  18. Марютина Т. М. Эндотипы в психиатрической генетике: опыт десяти лет изучения (Обзор литературы) / Т. М. Марютина // Современная зарубежная психология, 2013. – № 4. – С. 45–58.
  19. Munafò M. R. Does measurement instrument moderate the association between the serotonin transporter gene and anxiety-related personality traits? A meta-analysis / M. R. Munafò, T. Clark, J. Flint // Molecular Psychiatry, 2005. – Vol. 10. – P. 415–419.

## RESEARCH OF PERSONALITY TRAITS IN PSYCHOGENETICS: FACTS AND HYPOTHESES

*Konareva I. N.*

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

The problem of studying the genetic bases of individual differences of personality is considered. The concept of personality describes to those characteristics of the person that account the patterns of feeling, thinking, and behaving. Modern personality research focuses on personality traits that are relatively stable over time and predict behaviour in various domains; they are manifested in ontogeny early, and have a normal distribution in the population. Variation in personality traits is 30–60 % attributed to genetic influences. Results of the studies on the genetic influences at the molecular level are contradictory.

The article various directions are listed, which are used to identify molecular genetic markers of psychological traits. The possible candidate genes it is genes coding for enzymes, transporters or receptors of neurotransmitter systems the study because several personality theories postulate the biochemical basis for their traits. The two most extensively studied candidate genes are the serotonin transporter gene (5-HTT, SLC6A4) and the dopamine DRD4 receptor gene.

Technological advances have enabled genome-wide association (GWA) studies. Single nucleotide polymorphisms (SNPs) across the entire genome are tested for association with the trait. The approach is considered “hypothesis-free” since no prior knowledge of gene function is considered. However, the identified genetic variants have been of very small effect (<1 % of variance accounted for). It is assumed that personality traits may inherit according to different the mechanism in evolution: balancing selection, selective neutrality and mutation-selection balance.

Most of the studies from molecular genetics which are concerned with personality focus on single gene loci without considering gene interactions, although epistasis (i.e. gene – gene interactions) is thought to be important in behavioural phenotypes.

The concept of endophenotype is described, which comprises hereditary characteristics of human body and psyche, correlating with behavioral (psychological) displays of normal functioning and mental disorders. Endophenotypes are regarded as mediators between gene action and its display at the level of behavior. Requirements for psychodiagnostic instruments are given in article also.

**Keywords:** psychogenetics, personality traits, molecular genetics, genetic polymorphism, neurotransmitters, candidate genes, endophenotype, questionnaires.

### References

1. *Molecular Genetics and the Human Personality*, Benjamin J., Ebstein R. P., Belmaker R. H. (Eds.), 377 (American Psychiatric Publishing, Washington, DC, 2002).
2. Kazantseva A. V., Malykh S. B. and Khusnutdinova E. K., Molecular Genetic Investigations of Personality: From Candidate Genes to Genome-wide Associations. Chapter 8. In book: *Behavioural genomics: child development and education*, Ed. by S. B. Malykh, Y. V. Kovas, D. A. Gaysina, 442 (Publishing House of Tomsk State University, Tomsk, 2016).
3. Verweij K. J. H., Zietsch B. P., Medland S. E., Gordon S. D., Benjamin B., Nyholt D. R., McEvoy B. P., Sullivan P. F., Heath A. C., Madden P. A. F., Henders A. K., Montgomery G. W., Martin N. G. and Wray N. R., A genome-wide association study of Cloninger's temperament scales: Implications for the evolutionary genetics of personality, *Biological Psychology*, **85**, 306 (2010).
4. Alfimova M. V., Golimbet V. E. and Egorova M. S., Personal traits, executive functions and genetic characteristics of monoamine oxidase metabolism, *Psychology. The Journal of the Higher School of Economics*, **6**, 4, 24 (2009).
5. Kolesnikova L. I., Dolgikh V. V. and Gomboeva A. S., Genes of neurotransmitter systems and psycho-emotional features of human: serotonergic system, *Bulletin of Eastern-Siberian Scientific Center of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences*, 5 (81), 212 (2011).
6. Savitz J. B. and Ramesar R. S., Genetic variants implicated in personality: a review of the more promising candidates, *American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics*, **131B**, 20 (2004).
7. Lesch K. P., Bengel D., Heils A., Sabol S. Z., Greenberg B. D., Petri S., Benjamin J., Müller C. R., Hamer D. H. and Murphy D. L., Association of anxiety-related traits with a polymorphism in the serotonin transporter gene regulatory region, *Science*, **274**, 5292, 1527 (1996).
8. Munafò M. R., Freimer N. B., Ng W., Ophoff R., Veijola J., Miettunen J., Järvelin M. R., Taanila A. and Flint J., 5-HTTLPR genotype and anxiety-related personality traits: a meta-analysis and new data, *American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics*, **150B**, 2, 271 (2009).
9. Hariri A. R., Mattay V. S., Tessitore A., Kolachana B., Fera F., Goldman D., Egan M. F. and Weinberger D. R., Serotonin transporter genetic variation and the response of the human amygdala, *Science*, **297**, 5580, 400 (2002).
10. Munafò M. R., Yalcin B., Willis-Owen S. A. and Flint J., Association of the dopamine D4 receptor (DRD4) gene and approach-related personality traits: Meta-analysis and new data, *Biological Psychiatry*, **63**, 2, 197 (2008).
11. Comings D. E., Gonzales N., Saucier G., Johnson J. P. and MacMurray J. P., The DRD4 gene and the spiritual transcendence scale of the character temperament index, *Psychiatric Genetics*, **10**, 185 (2000).
12. Szekely A., Ronai Z., Nemoda Z., Kolmann G., Gervai J. and Sasvari-Szekely M., Human personality dimensions of persistence and harm avoidance associated with DRD4 and 5-HTTLPR polymorphisms, *American Journal of Medical Genetics. Part B. Neuropsychiatric Genetics*, **126B**, 1, 106 (2004).
13. Reuter M., Schmitz A., Corr P. J. and Hennig J., Molecular genetics support Gray's personality theory: the interaction of COMT and DRD2 polymorphisms predicts the behavioural approach system, *International Journal of Neuropsychopharmacology*, **9**, 155 (2006).

14. van den Oord E. J., Kuo P. H., Hartmann A. M., Webb B. T., Möller H. J., Hettema J. M., Giegling I., Bukszár J. and Rujescu D., Genomewide association analysis followed by a replication study implicates a novel candidate gene for neuroticism, *Archives of General Psychiatry*, **65**, 9, 1062 (2008).
15. Terracciano A., Sanna S., Uda M., Deiana B., Usala G., Busonero F., Maschio A., Scally M., Patriciu N., Chen W. M., Distel M. A., Slagboom E. P., Boomsma D. I., Villafuerte S., Sliwerska E., Burmeister M., Amin N., Janssens A. C., van Duijn C. M., Schlessinger D., Abecasis G. R. and Costa P. T. Jr., Genome-wide association scan for five major dimensions of personality, *Molecular Psychiatry*, **15**, 6, 647 (2010).
16. Penke L., Denissen J. J. A. and Miller G. F., The evolutionary genetics of personality, *European Journal of Personality*, **21**, 5, 549 (2007).
17. Gottesman I. I. and Gould F. R. C., The endophenotype concept in psychiatry: etymology and strategic intentions, *American Journal of Psychiatry*, **160**, 4, 636 (2003).
18. Mariutina T. M., Endophenotypes in psychiatric genetics: Experience of ten years long study (Literature overview), *Modern foreign psychology*, 4, 45 (2013).
19. Munafò M. R., Clark T. and Flint J., Does measurement instrument moderate the association between the serotonin transporter gene and anxiety-related personality traits? A meta-analysis, *Molecular Psychiatry*, **10**, 415 (2005).

**УДК 612.821+57.087.1**

## **АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ПАРЕ «ЭКСПЕРИМЕНТАТОР – ИСПЫТУЕМЫЙ»**

*Куличенко А. М., Махин С. А., Аликина М. А., Кайда А. И., Черненко Е. В.,  
Павленко В. Б., Куличенко Е. А.*

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

В статье представлены результаты разработки и апробации методики регистрации и оценки одновременных вращательных движений мышью в паре «экспериментатор – испытуемый». Методика предназначена для исследования механизмов работы зеркальной системы мозга в следующих экспериментальных ситуациях: самостоятельные движения испытуемым компьютерной мышью по кругу в произвольном ритме; имитация движений, выполняемых экспериментатором; движения по кругу в произвольном ритме при наблюдении за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором. Использование апробированного показателя синхронности позволяет оценивать степень навязывания ритма движений экспериментатора на деятельность испытуемого. Предполагается использование методики для диагностики степени развития зеркальной системы мозга, в том числе у детей с расстройствами аутистического спектра.

**Ключевые слова:** движения, синхронность, зеркальная система мозга.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в когнитивной нейронауке все большее внимание уделяется исследованиям процессов, напрямую не связанных с внешними сенсорными раздражителями, а обеспечивающих социальное взаимодействие: обучение путем подражания, имплицитное понимание действий окружающих и эмпатию [1]. Важным моментом для такого рода работ стало открытие группы итальянских исследователей, возглавляемых Д. Ризолатти. Ими были обнаружены нейроны, которые активировались как при выполнении животным какого-либо действия, так и когда животное наблюдало то же самое действие, выполняемое другим животным [2, 3]. Подобные реакции отмечаются у человека, который наблюдает за действиями другого индивида [4, 5]. Наблюдатель в своем воображении выполняет движение по воспринимаемому образцу, т. е. внутри себя отражает наблюдаемое действие. Представление о существовании такого внутреннего отражения привело к возникновению термина «зеркальная система мозга» (ЗСМ) [5]. Предполагается, что активность ЗСМ является нейробиологическим субстратом взаимодействия между людьми. С активацией ЗСМ связан феномен подавления одного из компонентов электроэнцефалограммы, называемого сенсомоторным, или мю-ритмом. Данный ритм имеет свойство супрессироваться, когда человек совершает произвольное

движение. Однако подавление этого компонента электроэнцефалограммы происходит и в том случае, когда испытуемый наблюдает, как то же самое действие совершает другой человек. Рамачандран и Оберман предположили, что реакцию подавления мю-волн можно использовать в качестве простого, надежного и безопасного инструмента для изучения активности зеркальных нейронов [6]. Это предположение было проверено на типично развивающихся детях и детях с аутизмом. У здоровых детей мю-ритм во время наблюдения за произвольным движением другого человека супрессировался. У детей с аутизмом подавления мю-ритма не наблюдалось. Данное открытие инициировало исследования ЗСМ во многих лабораториях мира.

Одним из важных аспектов изучения механизмов работы зеркальных нейронов является выбор поведенческой ситуации, адекватной задачам эксперимента. В большинстве случаев для исследования ЗСМ используются относительно простые привычные движения, при которых наблюдается «захватывание» ритма движений испытуемым. В качестве подобных ситуаций используются разгибания и сгибания пальца руки, маятникообразные движения ногой и т. п., при которых наблюдается эффект «захватывания» ритма движений другого человека. Совместные действия предполагают пространственно-временное согласование и требуют интеграции собственного поведения с действиями другого [7, 8].

В рамках данного направления исследований в нашей лаборатории изучаются частотно-амплитудные характеристики  $\mu$ -ритма ЭЭГ у испытуемых при реализации ряда экспериментальных ситуаций, используемых как тест на активацию ЗСМ, включая следующие: самостоятельные ритмичные движения компьютерной мышью по кругу; наблюдение за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором; имитация движений, выполняемых экспериментатором [9, 10]. В одной из используемых экспериментальных ситуаций испытуемому предлагается выполнять самостоятельные круговые движения мышью в собственном ритме, но в условиях наблюдения за движениями другим человеком. При этом также наблюдался эффект «захватывания» ритма. Однако степень синхронности движений обоих участников эксперимента оценивалась субъективно.

Принимая во внимание актуальность вышеизложенной проблемы, целью нашего исследования является разработка и апробация методики одновременной регистрации и оценки синхронности движений двух участников эксперимента по изучению механизмов работы ЗСМ человека. В данной статье приводится детальное описание методики эксперимента как по изучению механизмов межличностной координации действий в режиме реального времени, так и работы ЗСМ человека. Предложен ряд показателей синхронности круговых вращений компьютерным манипулятором – мышью. Даются также методические рекомендации по использованию предложенного метода при исследовании ЗСМ.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Применимость методики оценки синхронизации движений экспериментатора и испытуемого исследовалась в следующих экспериментальных ситуациях: 1) самостоятельные движения мышью по кругу в произвольном ритме; 2) имитация

движений, выполняемых экспериментатором; 2) движения мышью по кругу в произвольном ритме при наблюдении за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором.

Одновременная регистрация круговых движений компьютерными мышами проводилась с помощью специально разработанной компьютерной программы (программист Куличенко Е. А.). По окончании эксперимента данные о движении обоих манипуляторов записываются и могут быть в дальнейшем использованы этой программой для проведения анализа и сравнения с другими экспериментами. Мониторы у участников эксперимента (экспериментатора и испытуемого) отдельные и подключены в режиме расширения рабочего стола.

На рис. 1 изображена экспериментальная ситуация в режиме отработки данной методики.

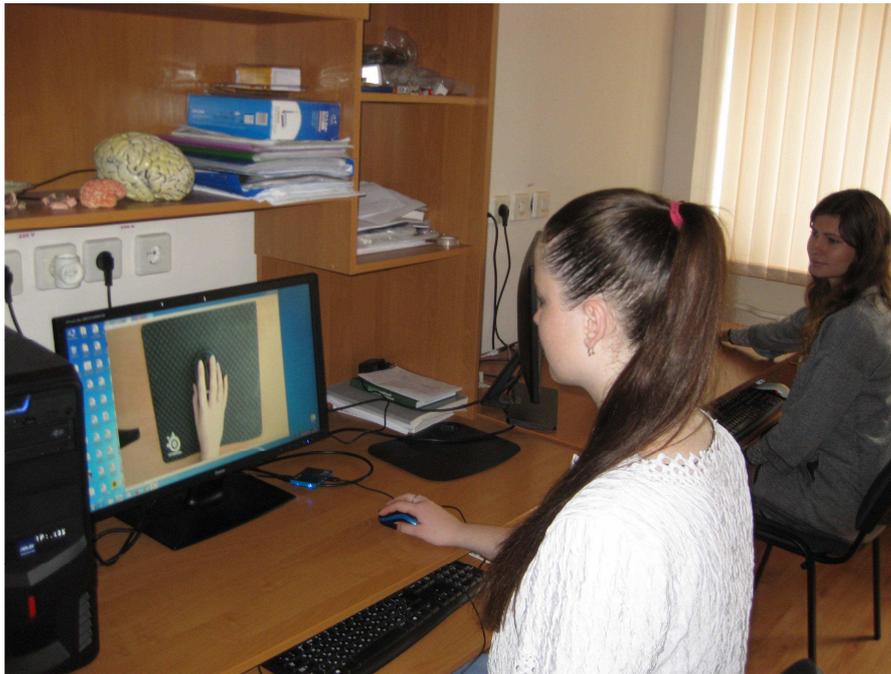


Рис. 1. Пример одновременной регистрации вращательных движений испытуемого и экспериментатора в режиме отработки методики. Испытуемый (на переднем плане) двигает мышью по кругу в произвольном ритме при наблюдении за движениями, выполняемыми экспериментатором в его собственном ритме (на заднем плане).

Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и было одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одновременная регистрация круговых движений компьютерными мышами проводилась с помощью специально разработанной компьютерной программы.

На основе дискретных значений координат компьютерных манипуляторов и времени их получения программа рассчитывает ряд показателей, которые затем выводит в виде статистических значений и графиков. В зависимости от этапа эксперимента влияние, оказываемое движениями экспериментатора на движения испытуемого, может быть оценено соответствующими из этих значений.

В первой серии эксперимента испытуемым предлагалось выполнять самостоятельные движения мышью по кругу в произвольном ритме без участия экспериментатора. Такие записи проводятся с целью оценки особенностей выполнения зрительно контролируемых действий, включая предпочтение направления движения мышью, скорость, амплитуду и частоту движений. Данные записи необходимы также для сравнительного анализа с данными последующих серий. На рис. 2 представлен график распределения частоты вращательных движений мышью одного из испытуемых, выполняемых в произвольном ритме.

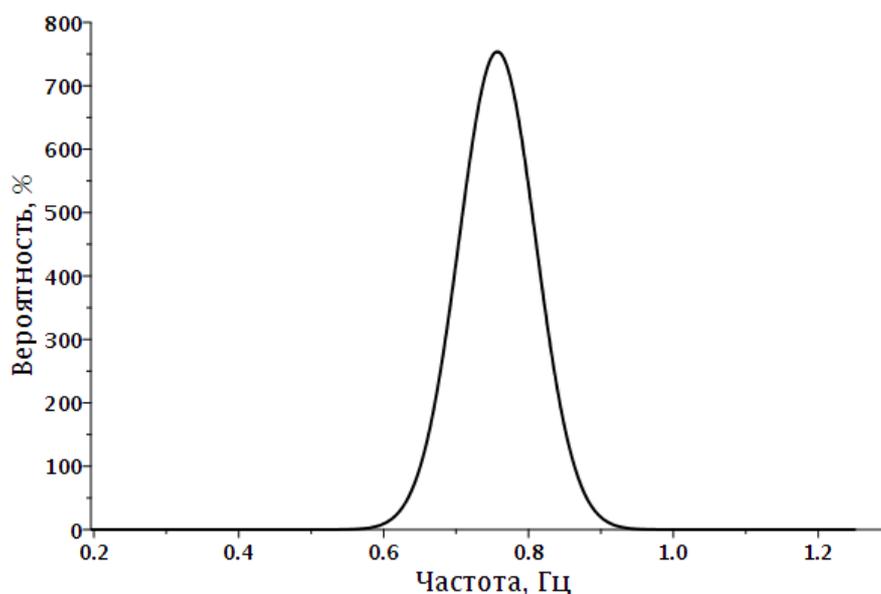


Рис. 2. Вероятностный график распределения частоты произвольных вращательных движений компьютерной мышью испытуемого. Усреднены данные пяти экспериментальных серий. По оси абсцисс – частота произвольных вращательных движений (Гц); по оси ординат – вероятность (%).

В случае, представленном на рис. 2, средняя частота (темп) вращений компьютерным манипулятором составляет 0,76 Гц (оборотов в секунду). Как видно из рис. 2 неравномерность скорости движений испытуемого характеризует размах распределения (отклонения от средней скорости вращения).

Во второй серии эксперимента испытуемому предлагалось имитировать движения, выполняемые экспериментатором. В этой серии экспериментатор выполнял вращательные движения мышью с переменной скоростью, периодически ускоряя или замедляя движения руки. Для оценки индивидуальных особенностей движений испытуемого не менее значимой является величина ускорения, которая так же, как отклонения от средней скорости вращения, характеризует неравномерность движений. На рис. 3 представлен вероятностный график усредненных значений среднего ускорения движений компьютерной мышью.

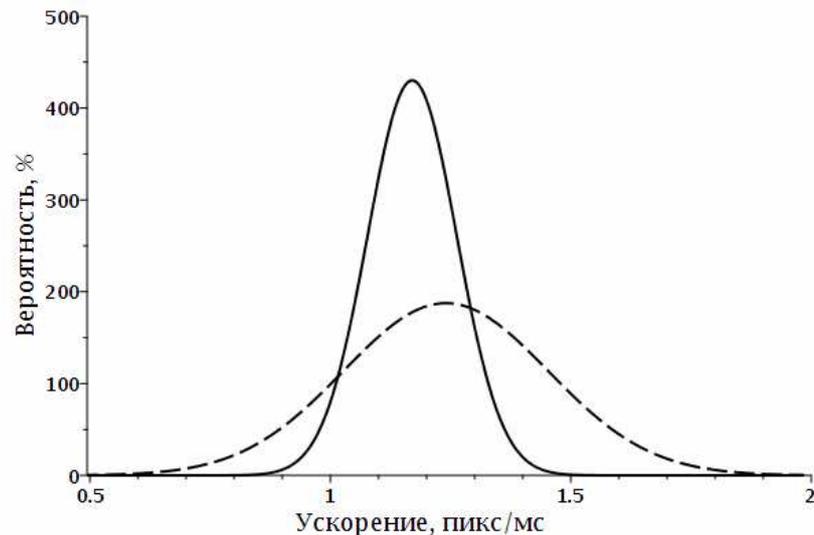


Рис. 3. Вероятностный график распределения ускорения движений компьютерных манипуляторов экспериментатора (сплошная линия) и испытуемого (пунктирная линия). По оси абсцисс – ускорение в пикс/мс; по оси ординат – вероятность (%).

В случае, представленном на рис. 3, среднее ускорение для экспериментатора составляет 1310 пикс/с, а для испытуемого – 1080 пикс/с.

Во время задачи вращения компьютерной мышью описываемые кривые являлись по форме овалами. Следует полагать, что высокой содержательной ценностью обладает предложенный нами для оценки особенностей движений показатель ширины траектории. Он вычисляется по величинам расстояний между вершинами описываемых овалов и оценивается в пикселях экрана компьютера. При увеличении ширины траектории снижается скорость движения и его темп. На рис. 4. представлен пример вероятностного графика распределения значений ширины траектории при самостоятельных движениях испытуемого и при совместных с экспериментатором. Экспериментатор, перемещая указатель мыши не по окружности, а из стороны в сторону оказал влияние, увеличив ширину траектории в среднем на 10 %. Как видно из графика, при самостоятельных движениях вариабельность показателей меньше, чем при совместных.

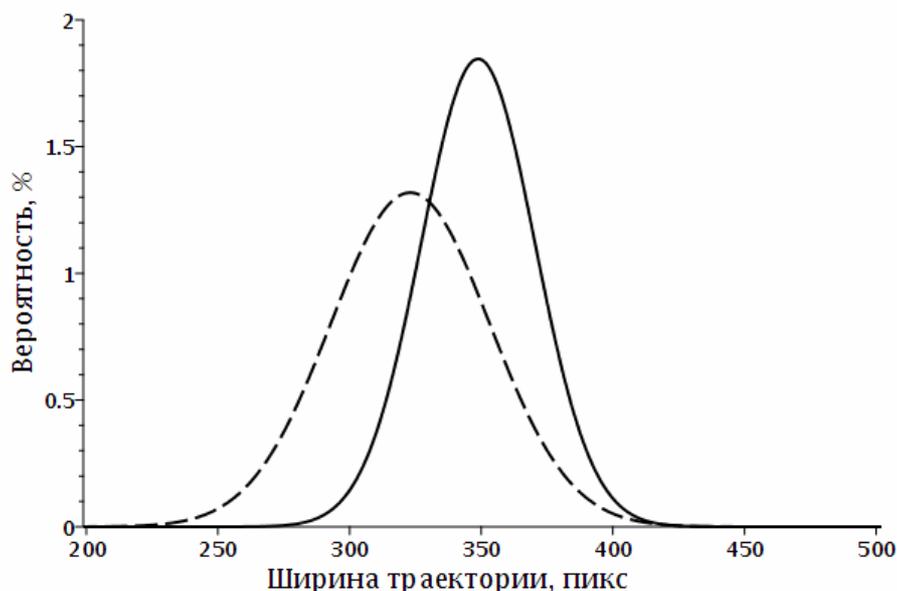


Рис. 4. Вероятностный график распределений ширины траектории овалов, описываемых при движениях испытуемого. Пунктирной и сплошной линиями обозначены самостоятельные и произвольные движения при воздействии экспериментатора соответственно. По оси абсцисс – ширины траектории (величина диаметра) (пикс); по оси ординат – вероятность (%).

В третьей серии эксперимента испытуемому предлагалось выполнять движения мышью по кругу в произвольном ритме при наблюдении за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором. Именно данная серия позволяет экспериментатору оценить степень навязывания ритма испытуемому посредством собственных движений. Отдельно следует сказать, что оценка синхронности движений достаточно сложна в связи с вариабельностью данных, характеризующих движения испытуемых. Проанализировав большой массив исходных данных при выполнении самостоятельных движений и оценив вариабельность, обусловленную индивидуальными различиями, удалось прийти к наиболее оптимальному показателю синхронности – суммарному проценту фазовой синхронизации. Данный показатель является наиболее информативным в отношении определения наличия связи между сигналами. Он зарекомендовал себя во многих исследованиях высокой чувствительностью (Киселев и др., 2016) [11]. Суммарный процент фазовой синхронизации представляет собой долю времени эксперимента, когда сигналы были синхронны. Расчет данного показателя производился следующим образом:

- 1) для обоих сигналов рассчитывалась мгновенная фаза;
- 2) с помощью «скользящего окна» и метода наименьших квадратов находились участки фазовой синхронизации;
- 3) находилось отношение суммы временных интервалов этих участков к общей продолжительности эксперимента.

На рис. 5. представлен пример графика разности мгновенных фаз движений экспериментатора и испытуемого, выполненных simultанно.

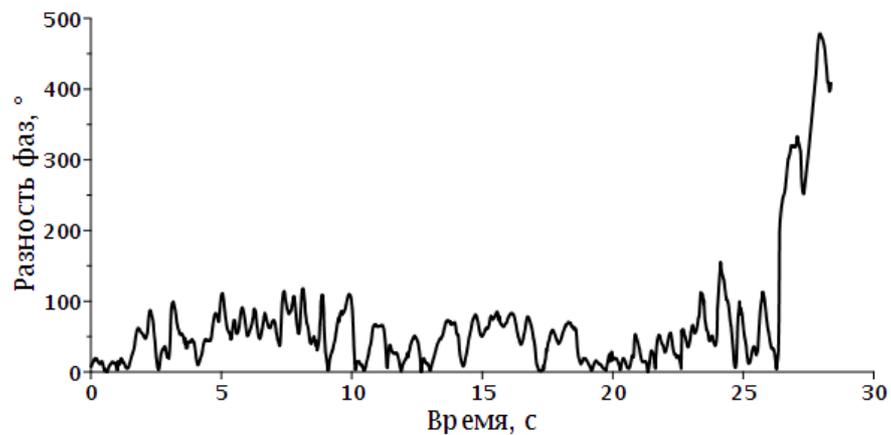


Рис. 5. График синхронности движений при выполнении испытуемым задачи имитации движений. По оси абсцисс – время (с); по оси ординат – разность фаз в угловых градусах.

Как видно из данного рисунка, испытуемому легко удавалось придерживаться ритма движений экспериментатора на протяжении 26 с. Но на 27-ой секунде наблюдается значительное увеличение разности фаз.

Показатель синхронности движений составил 69,8 %, что является достаточно высоким результатом.

На рис. 6 представлен график распределения частоты вращательных движений испытуемого, выполняющего самостоятельные движения во время первой серии эксперимента (прерывистая линия) и при совместных движениях с экспериментатором в третьей серии (сплошная линия). Среднее значение этого показателя выросло с 0,76 Гц до 0,83 Гц, что свидетельствует об увеличении темпа движений испытуемым под влиянием экспериментатора, средняя частота вращений которого составляла 0,98 Гц.

На рис. 7 представлен результирующий график разности фаз при выполнении испытуемым задачи выполнения движений в произвольном ритме с одновременным наблюдением за движениями экспериментатора. Как видно из графика, степень синхронности движений у испытуемого с экспериментатором достаточно высока.

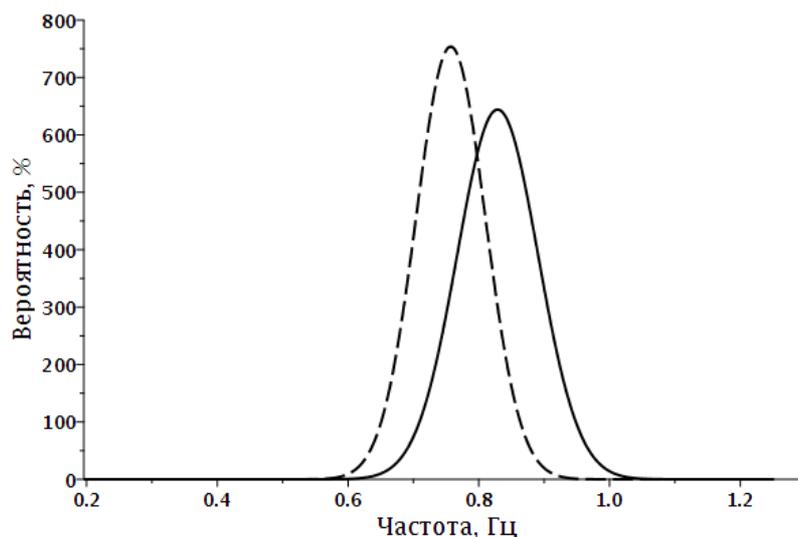


Рис. 6. График распределения частоты вращения испытуемого при самостоятельных движениях (пунктирная линия) и при совместных движениях с экспериментатором (сплошная линия). По оси абсцисс – частота вращательных движений (Гц); по оси ординат – вероятность (%).

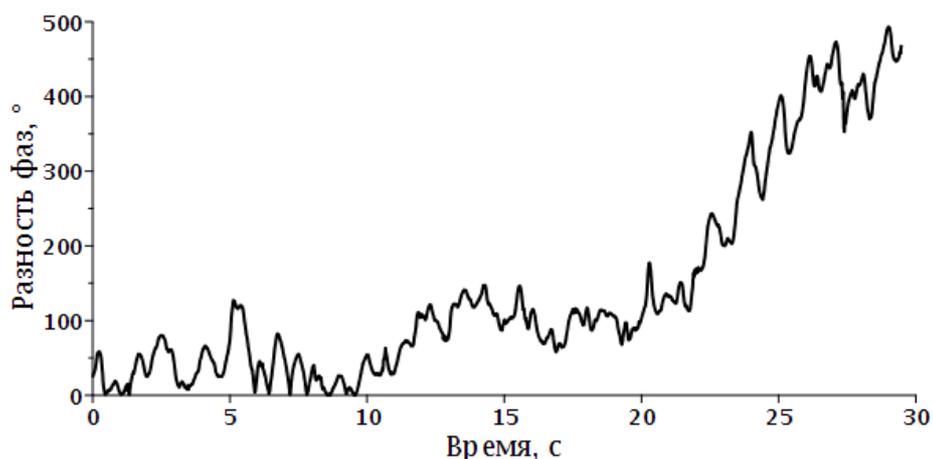


Рис. 7. График синхронности движений при выполнении испытуемым движений в собственном ритме с одновременным наблюдением за действиями экспериментатора. По оси абсцисс – время; по оси ординат – разность фаз в угловых градусах.

Ее числовой показатель составил 52,7 %. Сопоставляя записи движений этого испытуемого в описываемой экспериментальной ситуации с ситуацией самостоятельных движений в произвольном ритме без участия экспериментатора,

можно прийти к выводу об определенном влиянии зрительного восприятия движений экспериментатора на ритм движений этого испытуемого.

По нашему мнению, показатели одновременных записей координат курсоров компьютерных мышей позволяют объективно оценивать степень синхронности движений, выполняемых испытуемыми. Полученные данные важны для сопоставления с другими биологическими показателями, включая электроэнцефалографические корреляты совместной деятельности.

Предполагается, что апробированная в настоящем исследовании методика одновременной регистрации движений компьютерными манипуляторами позволит широко использовать ее для изучения закономерностей работы ЗСМ, в частности природы феномена «навязывания ритма». С учетом возможностей этой методики предполагается ее использование для диагностики и коррекции зрительно контролируемых действий у детей с расстройствами аутистического спектра.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Показатели одновременных записей курсоров компьютерных манипуляторов (мышей) позволяют объективно оценивать степень синхронности выполняемых движений в паре «экспериментатор – испытуемый», характеризующую феномен «навязывания ритма».
2. На основе оценки адекватного по количеству массива записей движений компьютерной мышью предложен алгоритм расчета суммарного процента фазовой синхронизации. Данный показатель позволяет в достаточной степени оценивать спонтанную синхронизацию движений пары «экспериментатор – испытуемый».
3. Спонтанная синхронизация движений испытуемого с движениями экспериментатора может быть оценена с помощью анализа совокупности величин предложенных показателей.

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

**БЛАГОДАРНОСТЬ.** Авторы благодарят доцента кафедры дифференциальных уравнений и геометрии факультета математики и информатики, кандидата физико-математических наук В. А. Лукьяненко за плодотворное сотрудничество в деле освоения современных средств обнаружения синхронизации между колебательными системами и приятную совместную работу.

Список литературы

1. Соколов П. А. Активность системы зеркальных нейронов по данным фМРТ при просмотре и воображении видеосюжетов: диссертация ... кандидата биологических наук / Соколов П. А. – Москва, 2014. – 114 с.
2. Rizzolatti G. Premotor cortex and the recognition of motor actions. / Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. // Brain Res. Cogn. Brain Res. – 1996. – 3 (2). – P. 131–141.
3. Rizzolatti G. The organization of the cortical motor system: new concepts. / Rizzolatti G., Luppino G., Matelli M. // EEG Clin Neurophysiol. – 1998. – 106. – P. 283–296.
4. Rizzolatti G. Neurophysiological mechanisms underlying action understanding and imitation. / Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V. // Nat Rev. Neurosci – 2001. – 2. – P. 661–670.
5. Di Pellegrino G. Understanding motor events: a neurophysiological study. / Di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. // Exp. Brain Res. – 1992. – 91(1). – P. 176–180.
6. Рамачандран В. Разбитые зеркала: теория аутизма / Рамачандран В., Оберман Л. // В мире науки. – 2007. – 3. – С. 34–46.
7. Novembre G. Motor simulation and the coordination of self and other in real-time joint action. / Novembre G., Ticini L. F., Schütz-Bosbach S., Keller P. E. // Soc. Cogn. Affect. Neurosci. – 2014. – 9. – P. 1062–1068.
8. Keller P. E. Rhythm in joint action: psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. / Keller P. E., Novembre G., Hove M. J. // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2014; 369(1658):20130394. doi:10.1098/rstb.2013.0394.
9. Махин С. А. Взаимосвязь между личностными эмпатийными характеристиками и реактивностью сенсомоторного ритма при наблюдении за биологическим движением / Махин С. А., Орехова Л. С., Макаричева А. А., Павленко В. Б. // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2013. – 26 (65). – 3. – С. 136–144.
10. Эйсмонт Е. В. Особенности  $\mu$ -ритма ЭЭГ и его реактивности в задачах на выполнение, наблюдение, имитацию и слуховое восприятие движений у детей 4–14 лет / Эйсмонт Е. В., Махин С. А., Бакунова А. В., Кайда А. И., Павленко В. Б. // Физиология человека. – 2017. – 43 (3). – С. 43–50.
11. Киселев А. Р. Метод оценки степени синхронизации низкочастотных колебаний в вариальности ритма сердца и фотоплетизмограмме / Киселев А. Р., Караваев А. С., Гриднев В. И., Прохоров М. Д., Пономаренко В. И., Боровкова Е. И., Шварц В. А., Посненкова О. М., Безручко Б. П. // Кардио-ИТ – 2016. – 3 (1). – e0101.

ANALYSIS OF SIMPLIFICATION OF SYNCHRONOUS MOVEMENTS IN THE EXPERIMENTAL-EXPERIENCE COEL

*Kulichenko A. M., Mahin S. A., Alikina M. A., Kayda A. I., Chernenko E. V., Pavlenko V. B., Kulichenko E. A.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

The article presents the results of development and approbation of the experimental technique designed to record simultaneous circular movements performed with the two computer mice in a pair of experimenter-test subjects to assess the degree of the motion synchronicity. This technique is meant to be implemented in the experimental studies of the brain mirror system mechanisms under the following conditions: self-paced circular movements with a computer mouse in an arbitrary rhythm; imitation of movements performed by the experimenter; circular motion in an arbitrary rhythm when observing similar

movements performed by the experimenter. The real-time recording of the mouse coordinates was performed with the help of the specifically designed computer program. It registered simultaneously the motion characteristics of the both mice while showing on the two monitors their movement dynamics and the real-time video of the experimenter's hand which moved the mouse. Based on the discrete values of mouse coordinates and the time, the program calculates a number of variables such as motion period, width of span, acceleration values. Following the analysis of the data collected with the help of the program and taking into account the variability related to individual differences, we have designed the algorithm for the total percentage of phase synchronicity. This indicator represents a fraction of the experiment time when the signals were synchronous. The program also processes the motion characteristics to provide their visual display in the form of statistical values and corresponding graphs.

The designed algorithm for simultaneous recording and processing the motion characteristics of the two computer mice allows for assessing objectively the degree of synchronicity of the performed movements in a pair of experimenter-test subjects to estimate in turn the phenomenon of "induced rhythms". Spontaneous synchronization of the test subject's movements with the movements performed by the experimenter can be assessed by means of the analysis of the variables recorded by the program.

The designed technique is intended to be implemented in studying the mechanisms of interindividual coordination of actions in real time, and assessing the level of development of the brain mirror system, including the children with the autism spectrum disorders.

**Keywords:** movement, synchronism, brain mirror system.

#### References

1. Sokolov P. A. Aktivnost' sistemy zerkal'nyh neyronov po dannym fMRT pri prosmotre i voobrazhenii videosyuzhetov : dissertatsiya ... kandidata biologicheskikh nauk. Moskva, (2014).
2. Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*; **3**, 2 (1996).
3. Rizzolatti G., Luppino G., Matelli M. The organization of the cortical motor system: new concepts. *EEG Clin Neurophysiol.* 1998; 106 (1998).
4. Rizzolatti G., Fogassi L., Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying action understanding and imitation. *Nat Rev. Neurosci.* 2 (2001).
5. Di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp. Brain Res.* **91**, 1 (1992).
6. Рамачандран В., Оберман Л. Разбитые зеркала: теория аутизма *В мире науки* 3 (2007).
7. Novembre G., Ticini L. F., Schütz-Bosbach S., Keller P. E. Motor simulation and the coordination of self and other in real-time joint action. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 9 (2014).
8. Keller P. E., Novembre G., Hove M. J. Rhythm in joint action: psychological and neurophysiological mechanisms for real-time interpersonal coordination. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 369(1658):20130394. doi:10.1098/rstb.2013.0394 (2014).
9. Makhin S. A., Orekhova L. S., Makarisheva A. A., Pavlenko V. B. Correlation between individual's empathy properties and sensorimotor rhythm reactivity to biological movement observation. *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry.* **26**, 3 (2013).
10. Eismont E. V., Makhin S. A., Bakunova A. V., Kaida A. I., Pavlenko V. B. Properties of the EEG  $\mu$ -rhythm and its reactivity during the performance, observation, imitation and auditory recognition of movements in children aged 4–14 years., *Human physiology*, **43**, 3 (2017).
11. Kiselev A. R., Karavaev A. S., Gridnev V. I., Prokhorov M. D., Ponomarenko V. I., Borovkova E. I., Shvartz V. A., Posnenkova O. M., Bezruchko B. P. *Method of assessment of synchronization between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmogram.* *Cardio-IT* **3**, 1: e0101 (2016).

**УДК 612.172/.176.4-073.97**

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВНОЙ ЛОГИКИ**

*Минина Е. Н.*

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

Выявление уровня функциональных резервов миокарда и их количественная оценка имеет важное диагностическое значение в своевременном предотвращении возникновения заболеваний сердца, при оптимальном дозировании физических упражнений, спортивных нагрузок и определении эффективности реабилитационных мероприятий. Показатели эталонного кардиоцикла могут применяться в качестве критерия оценки функциональных резервов миокарда и эффективности коррекционных воздействий, а построение математической модели с использованием алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ) является эффективным методом верификации маркеров изменений у различных категорий населения на примере обучающихся.

Представленный аналитический расчет одновременно является методикой анализа и по мере накопления исходных данных позволяет уточнять полученные результаты. Значения факторов в выявленных диапазонах можно считать критерием отклонения от оптимального функционирования, а показатели, принятые в данном анализе за факторы, характеризовать как индикаторы снижения функциональных резервов регуляции кардиогемодинамики у школьников 10–16 лет. Показатель СКО симметрии зубца Т фазового портрета одноканальной ЭКГ, показатели эталонного кардиоцикла – T/R (ед.), смещение ST (мс), показатель продолжительности зубца Т эталонного кардиоцикла и показатель вариабельности сердечного ритма CV (%) можно рассматривать как информативные показатели – индикаторы повышения риска патологии кардиогемодинамического функционирования.

**Ключевые слова:** эталонный кардиоцикл, алгебраическая модель конструктивной логики, кардиореспираторная система, диапазон физиологического функционирования.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Состояние здоровья обучающихся является актуальной проблемой научных исследований. Данные литературы свидетельствуют о том, что лишь 10 % выпускников школ могут считаться здоровыми, у трети школьников выявлены различные хронические заболевания, и за время обучения в школе число здоровых детей уменьшается в 4–5 раз [1]. Современные способы скрининговой оценки физической, психической и адаптационной составляющих здоровья позволяют отследить влияние на здоровье школьников различных факторов окружения, что дает возможность управлять ими в реальном времени и напрямую связано с донологическим ранним выявлением и анализом функциональных нарушений в работе различных систем организма.

В связи с этим оценка уровня функционального состояния кардиогемодинамики, в том числе количественное определение функционального состояния миокарда, является важной медико-биологической проблемой, а поиск и разработка диагностических методик, позволяющих в режиме скрининговых исследований и методов не только получать, но и анализировать диагностические показатели, составляют наиболее приоритетные и актуальные вопросы физиологии [2].

Надо отметить, что междисциплинарность в медико-биологических исследованиях получает все большую актуальность и позволяет реализовывать новейшие технологические решения как в изучении физиологических особенностей функционирования, так и в интерпретации и верифицировании полученных результатов [3]. Комбинированное применение инновационных методов получения и обработки физиологических показателей формирует новые методологические подходы анализа функционального состояния организма человека и позволяет реализовывать задачи физиологической науки.

В связи с вышесказанным целью исследования было определить маркеры (и их количественные диапазоны) физиологического функционирования кардиогемодинамики и ее регуляции в различных группах обучающихся по параметрам эталонного кардиоцикла (ЭК) и вариабельности сердечного ритма одноканальной ЭКГ с использованием математического моделирования, применяя алгебраическую модель конструктивной логики.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Регистрацию и анализ ЭКГ в фазовом пространстве с определением параметров эталонного кардиоцикла (ЭК) и вариабельности сердечного ритма проводили с помощью программно-технического комплекса «ФАЗАГРАФ®» [4], в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардосигнала в фазовом пространстве с использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов (МНУЦИТИС НАН и МОН Украины). Регистрация количественных показателей  $CO_2$  во время выдоха проводилась с помощью ультразвукового проточного капнометра КП-01-«ЕЛАМЕД».

Факторный анализ и построение нелинейной математической модели выполняли с помощью математического аппарата алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ), которая является в своей основе моделью интуитивистского исчисления предикатов, отображающей индуктивную часть мышления – формирование небольшого набора кратких качественных выводов из массивов информации большой размерности [5–10]. Особенность модели состоит в ее приспособленности к исследованию динамики сложных объектов, зависящих от так называемых скрытых переменных. Машинный интеллект алгебраической модели позволяет в определенной степени выявить эти ранее не учтенные факторы. С общей точки зрения, систему можно применять как средство, согласующее информационные каналы исследуемого объекта и пользователя. Алгоритм может быть использован в любых областях науки или практики для

доказательства (или опровержения) ряда априорных предположений, например в области доказательной медицины [11–14].

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Входные данные представляют собой массив данных – таблицу, в которой каждый столбец  $X_i$  представлен значениями факторов. Один из столбцов является целевым, поскольку его значения являются результатом воздействия факторов на исследуемый объект. Результат вычислений представлен как дизъюнкция импликант, в которых факторы в сочетанном или несочетанном виде даны с указанием пределов значений и результирующей мощностью, по которой можно судить о степени ее влияния на результат. Аналитические расчеты можно выполнять в режимах достижения цели (прямой расчет) или ее недостижения (расчет от обратного).

Массив верифицированных данных представлен 7440 показателями кардиореспираторной системы 186 условно здоровых обучающихся средней образовательной школы г. Симферополя 9–16 лет.

Показатель  $\beta_T$  (ед.) можно охарактеризовать как информативный критерий функционального состояния кардиогемодинамики и количественного определения адаптационных резервов миокарда в скрининг-исследованиях. Из предыдущих исследований известно, что электрокардиографический показатель  $\beta_T$  отражает процессы реполяризации и позволяет оценить степень напряжения миокарда, является стабильным и чувствительным индикатором, отражающим интегративную реакцию адаптационных резервов кардиогемодинамики [15–20].

Таким образом, в результате выявленной информативности показатель  $\beta_T$  был принят в качестве целевого фактора. Было выявлено 98 целевых и 88 нецелевых случаев.

Целевая группа (Группа  $\beta_T - 0,75$  ед.) была описана несколькими признаками: гендерным, возрастным и признаком двигательной активности. Так, количество мальчиков и девочек, составивших целевую группу, было практически одинаковым. При этом в каждой возрастной группе значения ( $\beta_T$ , ед.) в целевой группе достоверно превышали значения данного показателя в нецелевой группе. В таблице 1 отражены возрастные особенности целевой и нецелевой групп.

**Таблица 1**  
**Возрастные особенности показателя симметрии зубца Т у школьников целевой и нецелевой групп, ( $\bar{x} \pm Sx$ ), n=197**

№	Возраст	$\beta_T$ , ед.	
		1 (целевая группа)	0 (не целевая группа)
1	9–10 лет (n=45)	0,77±0,02	0,69±0,02**
2	11–12 лет (n=55)	0,76±0,01	0,68±0,01***
3	13–14 лет (n=42)	0,76±0,02	0,70±0,01**
4	15–16 лет (n=55)	0,78±0,03	0,69±0,01***

Примечание: \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$ , \*\*\* –  $p < 0,001$  при сравнении целевой и нецелевой групп

Очевидно, ни гендерный, ни возрастной факторы не являлись основополагающим в определении значения показателя  $\beta_T$ , ед.

Напротив, при анализе фактора двигательной активности было выявлено преобладание в целевой группе исследуемых школьников со сниженным уровнем двигательной активности (рис. 1).

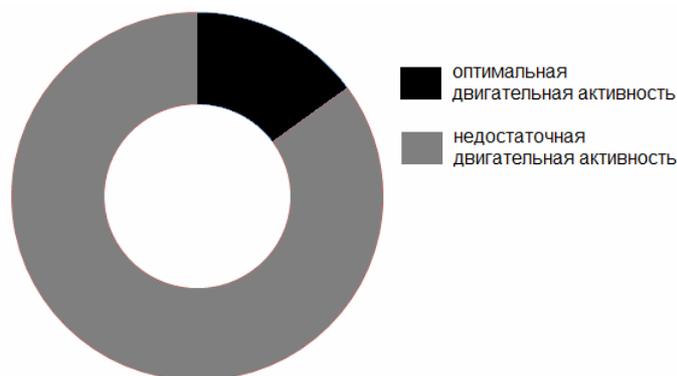


Рис. 1. Характеристика целевой группы по признаку оптимальности двигательной активности

Исходными данными для построения модели являлась таблица. Каждая строка в этой таблице рассматривается как случай, в котором занесены значения факторов (в факторных столбцах) и результат их воздействия (в целевом столбце) (табл. 2, 3).

Алгоритм АМКЛ позволил:

1. Построить математическую модель с минимальным числом результирующих составляющих, дизъюнктивно объединенных между собой.
2. Определить сочетание факторов (показанных через знак &) и пределы их определения без участия исследователя.
3. Определить мощность каждой результирующей составляющей (W), численно равной числу строк, на которых выполняется условие определения переменных этой

результатирующей составляющей, с определением границ наиболее мощных результирующих составляющих (рис. 2–4).

4. Исключить отдельные избыточные факторы, без которых математическая модель может быть построена.

В представленной математической модели показаны результирующие составляющие (пронумерованы). Каждый фактор имеет пределы определения (показаны в скобках), которые алгоритм АМКЛ определил сам из соображений компактного представления модели. Каждая результирующая составляющая влияет на результат (выбранную цель) с мощностью (обозначенной М).

Таблица 2

Результаты математического моделирования достижения цели с использованием АМКЛ

Факторы и обозначения		Математическая модель достижения цели с использованием всех факторов	Математическая модель достижения цели с оптимизированным пространством факторов
X1	цель, симметрия зубца Т, $\geq 0,75$ усл. ед., что соответствует – 1; < 0,75 усл. ед. – 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: нет Совпало целевых и нецелевых строк: 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: X6; X7; X8; X10; X12; X14; X16; X17; X18; X20; X25; X26; X27; X28; X29; X30; X31; X32; X33; X34; X35. Совпало целевых и нецелевых строк: 0.
X2	ЧСС, уд/мин	<b>1.М= 29. ( 0.84 &lt; X19 &lt; 1.31 )</b> Строки: 1; 8; 23; 26; 31; 40; 41; 44; 65; 75; 80; 93; 99; 103; 105; 109; 117; 118; 120; 121; 132; 133; 141; 147; 149; 153; 162; 169; 184; <b>2.М= 21.( 0.1 &lt;= X9 &lt; 0.18 )</b> Строки: 5; 23; 26; 41; 44; 46; 49; 80; 92; 93; 97; 100; 101; 103; 106; 108; 113;149; 154; 166; 184 <b>3.М= 13.( 0.18 &lt; X9 &lt; 0.2 )</b> Строки: 8; 21; 27; 67; 68; 90; 102; 105; 133; 153; 159; 169; 182 <b>4.М= 13.( 0.16 &lt; X4 &lt; 0.42 )</b> Строки: 1; 20; 23; 88; 92; 93;	<b>1.М= 29. ( 0.84 &lt; X19 &lt; 1.31 )</b> Строки: 1; 8; 23; 26; 31; 40; 41; 44; 65; 75; 80; 93; 99; 103; 105; 109; 117; 118; 120; 121; 132; 133; 141; 147; 149; 153; 162; 169; 184; <b>2.М= 21. ( 0.1 &lt;= X9 &lt; 0.18 )</b> Строки: 5; 23; 26; 41; 44; 46; 49; 80; 92; 93; 97; 100; 101; 103; 106; 108; 113;149; 154; 166; 184 <b>3.М= 13. ( 0.18 &lt; X9 &lt; 0.2 )</b> Строки: 8; 21; 27; 67; 68; 90; 102; 105; 133; 153; 159; 169; 182 <b>4.М= 13. ( 0.16 &lt; X4 &lt; 0.42 )</b> Строки: 1; 20; 23; 88; 92; 93;
X3	вариабельность ЧСС,		
X4	среднее квадратическое отклонение симметрии зубца Т, мс		
X5	смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X6	продолжительность Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X7	продолжительность сегмента Р-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		

X8	продолжительность зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	120; 126; 140; 154; 162; 181; 184 <b>5.M= 13. ( -3.e-002 &lt;= X5 &lt; -2.e-002 )</b>	120; 126; 140; 154; 162; 181; 184 <b>5.M= 13. ( -3.e-002 &lt;= X5 &lt; -2.e-002 )</b>
X9	продолжительность зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 23; 26; 41; 46; 49; 61; 97; 101; 105; 113; 135; 159; 184 <b>6.M= 12.( 8.11 &lt; X24 &lt; 8.92 )</b>	Строки: 23; 26; 41; 46; 49; 61; 97; 101; 105; 113; 135; 159; 184 <b>6.M= 12. ( 8.11 &lt; X24 &lt; 8.92 )</b>
X10	амплитуда зубца P эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 5; 7; 23; 39; 67; 76; 115; 147; 153; 166; 168; 184 ----- 7.M= 10.(30.92 < X22 < 32.73)	Строки: 5; 7; 23; 39; 67; 76; 115; 147; 153; 166; 168; 184 ----- 7.M= 10. ( 30.92 < X22 < 32.73)
X11	амплитуда зубца Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 9; 10; 31; 103; 104; 135; 154; 155; 170; 171; 8.M= 9. ( -5.69e-003 < X11 < -3.14e-003 )	Строки: 9; 10; 31; 103; 104; 135; 154; 155; 170; 171 8.M= 10. ( 0.85 < X36 < 0.96 )
X12	амплитуда зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 1; 9; 74; 75; 96; 129; 161; 162; 170; 9.M= 9.( 115 < X2 <= 129 )	Строки: 5; 7; 23; 26; 83; 106; 156; 166; 168; 184 9.M= 9. ( 115. < X2 <= 129. )
X13	амплитуда зубца S эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 26; 27; 30; 45; 49; 53; 72; 97; 106 10.M= 8. ( -1.e-002 < X5 < -7.88e-003 )	Строки: 26; 27; 30; 45; 49; 53; 72; 97; 106 10.M= 9. ( -5.69e-003 < X11 < -3.14e-003 )
X14	амплитуда зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 5; 21; 37; 67; 76; 88; 166; 182 11.M= 8. ( -4.e-002 < X13 < -2.e-002 )	Строки: 1; 9; 74; 75; 96; 129; 161; 162; 170 11.M= 8. ( -4.e-002 < X13 < -2.e-002 )
X15	интервал P-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 13; 67; 75; 120; 152; 153; 156; 174 12.M= 8. ( -7.e-002 < X13 < -4.e-002 )	Строки: 13; 67; 75; 120; 152; 153; 156; 174 12.M= 8. ( -7.e-002 < X13 < -4.e-002 )
X16	интервал Q-T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 7; 8; 41; 44; 124; 140; 168; 169 13.M= 8.( 7.84 < X23 < 9.73 )	Строки: 7; 8; 41; 44; 124; 140; 168; 169 13.M= 8. ( 7.84 < X23 < 9.73 )
X17	комплекс QRS эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	Строки: 9; 31; 41; 64; 65; 104; 135; 170 14.M= 7.( 27.5 < X3 < 29.3 )	Строки: 9; 31; 41; 64; 65; 104; 135; 170 14.M= 7. ( 27.5 < X3 < 29.3 )
X18	амплитуда Q/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	Строки: 16; 40; 75; 126; 142; 143; 177 15.M= 7. ( -4.65e-003 < X5 < -1.69e-003 )	Строки: 16; 40; 75; 126; 142; 143; 177 15.M= 7. ( -4.65e-003 < X5 < -1.69e-003 )
X19	соотношение площадей T/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	Строки: 7; 27; 28; 31; 87; 90; 168 16.M= 7.( 76 < X21 < 82 )	Строки: 7; 27; 28; 31; 87; 90; 168 16.M= 7. ( 76. < X21 < 82. )

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО ...**

X20	продолжительность цикла, NN, мс	Строки: 13; 41; 58; 127; 135; 174	174
X21	SDNN, мс	18.M= 6.( 10.1 < X25 < 10.4 )	18.M= 6. ( 0.3 <= X15 < 0.31 )
X22	RMSSD, мс	Строки: 39; 80; 83; 110; 120; 141	Строки: 26; 27; 46; 49; 50; 92
X23	pNN50, %	19.M= 6. ( 0.3 <= X15 < 0.31 )	19.M= 5. ( 9.58 < X24 < 10.28 )
X24	коэффициент вариации, CV, %	Строки: 26; 27; 46; 49; 50; 92	Строки: 37; 110; 113; 118; 133
X25	HRVtr.index		
X26	Мода, Мо, мс		
X27	Амплитуда моды, АМо, %		
X28	MxDMn, мс		
X29	индекс напряжения ИН по Баевскому, ед.		
X30	LFn, %		
X31	HFn, %		
X32	коэффициент вагосимпатического баланса, LF/HF, ед.		
X33	угол наклона фазового портрета, гр.		
X34	показатель вариабельности фазового портрета, ед.		
X35	соотношение T/R, ед		
X36	частота дыхательных движений, цикл/мин. ед.		
X37	показатель неравномерности дыхания, ед.		
X38	показатель ТД по ЧД, ед.		
X39	напряжение CO2 в последней фракции выдыхаемого воздуха, мм рт. ст.		
X40	мертвое пространство, %		

Таблица 3

**Результаты математического моделирования недостижения цели с использованием АМКЛ**

Факторы и обозначения		Математическая модель недостижения цели с использованием всех факторов	Математическая модель недостижения цели с оптимизированным пространством факторов
X1	цель, симметрия зубца Т, $\geq 0,75$ усл. ед., что соответствует – 1; $< 0,75$ усл. ед. – 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели: X1. Значение цели: 1.0 Маска: нет Совпало целевых и нецелевых строк: 0.	Исходные данные из файла: D:\АналРасчеты\Минина\Расчеты\base.txt Переменная цели :X1; Значение цели :1.0 Маска :X6; X7; X8; X10; X12; X14; X16; X17; X18; X20; X25; X26; X27; X28; X29; X30; X31; X32; X33; X34; X35. Совпало целевых и нецелевых строк: 0.
X2	ЧСС, уд/мин	1.М= 13. ( 0.27 < X9 < 0.33 ) Строки: 2; 17; 22; 51; 69; 73; 79; 84; 116; 139; 163; 178; 183 2.М= 9. ( 6.e-002 < X35 < 0.11 ) Строки: 35; 63; 66; 71; 77; 84; 95; 123; 160 3.М= 9. ( 11.09 < X25 < 11.44 ) Строки: 2; 3; 18; 55; 73; 139; 163; 164; 179 4.М= 9. ( 54.8 < X30 < 58.6 ) Строки: 22; 47; 59; 69; 70; 122; 139; 151; 183 5.М= 8. ( 45.51 < X22 < 47.08 ) Строки: 17; 18; 43; 73; 78; 94; 178; 179 6.М= 8. ( 9.24 < X24 < 9.72 ) Строки: 4; 12; 42; 43; 57; 111; 165; 173 7.М= 7. ( 181. < X33 <	1.М= 13.( 0.27 < X9 < 0.33 ) Строки: 2; 17; 22; 51; 69; 73; 79; 84; 116; 139; 163; 178; 183. 2.М= 10.( 2.e-002 < X5 <= 6.26 ) Строки: 2; 35; 38; 43; 63; 84; 89; 122; 151; 163. 3.М= 9.( 74.13 < X22 < 87.35 ) Строки: 11; 22; 24; 81; 98; 137; 146; 172; 183. 4.М= 8.( 9.24 < X24 < 9.72 ) Строки: 4; 12; 42; 43; 57; 111; 165; 173. 5.М= 7.( 41.75 < X23 < 46.24 ) Строки: 11; 22; 82; 98; 138; 172; 183. 6.М= 6.( 33.87 < X22 < 34.61 ) Строки: 3; 35; 71; 85; 91; 164. 7.М= 6.( 91.8 < X2 < 92.8 )
X3	вариабельность ЧСС,		
X4	среднее квадратическое отклонение симметрии зубца Т, мс		
X5	смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X6	продолжительность Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X7	продолжительность сегмента Р-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X8	продолжительность зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X9	продолжительность зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		
X10	амплитуда зубца Р эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс		

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО ...

X11	амплитуда зубца Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	211. ) Строки: 32; 43; 52; 84; 89; 119; 146	Строки: 14; 18; 24; 112; 175; 179. 8.M= 6.( 72.8 < X2 < 74.2 )
X12	амплитуда зубца R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	8.M= 7. ( 11.4 < X34 < 12.7 ) Строки: 11; 38; 63; 81; 128; 138; 172	Строки: 2; 116; 131; 148; 160; 163. 9.M= 5.( 4.28 < X24 < 4.81 )
X13	амплитуда зубца S эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	9.M= 7. ( 37.5 < X31 < 41.4 ) Строки: 4; 24; 62; 111; 134; 137; 165	Строки: 14; 29; 84; 150; 175. 10.M= 5.( -0.4 < X13 < - 0.35 )
X14	амплитуда зубца T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	10.M= 7. ( 41.75 < X23 < 46.24 ) Строки: 11; 22; 82; 98; 138; 172; 183	Строки: 43; 54; 84; 119; 128. 11.M= 5.( -0.84 <= X13 < - 0.55 )
X15	интервал P-Q эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	11.M= 6. ( 51.1 < X30 < 52.6 ) Строки: 17; 29; 35; 57; 158; 178	Строки: 32; 33; 47; 57; 79. 12.M= 5.( 1.97 < X19 < 2.14 )
X16	интервал Q-T эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	12.M= 6. ( 13.71 < X25 < 14.71 ) Строки: 17; 136; 137; 148; 151; 178	Строки: 11; 34; 38; 125; 172. 13.M= 5.( 4.81 < X19 < 5.58 )
X17	комплекс QRS эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс	13.M= 6. ( 33.87 < X22 < 34.61 ) Строки: 3; 35; 71; 85; 91; 164;	Строки: 35; 57; 69; 130; 160. 14.M= 5.( 18.8 < X3 < 20. )
X18	амплитуда Q/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	14.M= 6. ( 91.8 < X2 < 92.8 ) Строки: 14; 18; 24; 112; 175; 179	Строки: 54; 66; 69; 81; 89. 15.M= 5.( 2.4 < X19 < 2.51 )
X19	соотношение площадей T/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед.	15.M= 6. ( 62. <= X2 < 71.9 ) Строки: 22; 51; 125; 145; 146; 183	Строки: 2; 94; 136; 148; 163. 16.M= 4.( 12.64 < X24 < 13.52 )
X20	продолжительность цикла, NN, мс	16.M= 6. ( 72.8 < X2 < 74.2 ) Строки: 2; 116; 131; 148; 160; 163	Строки: 34; 94; 145; 158. 17.M= 4.( 6.08e-003 < X5 < 8.36e-003 )
X21	SDNN, мс	17.M= 5. ( 1.97 < X19 < 2.14 ) Строки: 11; 34; 38; 125; 172	Строки: 15; 42; 55; 176. 18.M= 4.( 8.36e-003 < X5 < 8.87e-003 )
X22	RMSSD, мс	18.M= 5. ( 2.09e-003 < X5 < 3.71e-003 ) Строки: 51; 54; 85; 138; 144	Строки: 18; 56; 107; 179.
X23	pNN50, %	19.M= 5. ( 4.81 < X19 <	
X24	коэффициент вариации, CV, %		
X25	HRVtr.index		
X26	Мода, Мо, мс		
X27	Амплитуда моды, АМо, %		
X28	МхDMn, мс		
X29	индекс напряжения ИН по Баевскому, ед.		
X30	LFn, %		
X31	HFn, %		
X32	коэффициент вагосимпатического баланса, LF/HF, ед.		

X33	угол наклона фазового портрета, гр.	5.58 ) Строки: 35; 57; 69; 130; 160
X34	показатель variability фазового портрета, ед.	20.M= 5. ( 591. < X20 < 602. )
X35	соотношение T/R, ед.	Строки: 36; 42; 43; 48; 57 21.M= 5. ( 25.4 < X34 < 28.7 )
X36	частота дыхательных движений, цикл/мин. ед.	Строки: 24; 29; 33; 35; 85 22.M= 5. ( 4.28 < X24 < 4.81 )
X37	показатель неравномерности дыхания, ед.	Строки: 14; 29; 84; 150; 175
X38	показатель ТД по ЧД, ед.	23.M= 5. ( 25. < X40 < 26.67 )
X39	напряжение CO2 в последней фракции выдыхаемого воздуха, мм рт. ст.	Строки: 15; 25; 57; 111; 176 24.M= 5. ( 0.76 < X12 < 0.81 )
X40	мертвое пространство, %	Строки: 18; 62; 116; 157; 179 25.M= 4. ( 90.1 < X2 < 90.9 ) Строки: 19; 52; 89; 180 26.M= 4. ( 8.36e-003 < X5 < 8.87e-003 ) Строки: 18; 56; 107; 179 27.M= 4. ( 14.5 < X3 < 15.4 ) Строки: 38; 60; 71; 138

Так как параметры ЭК изучаются впервые, диапазоны нормального функционирования не верифицированы. Полученные результаты математического моделирования можно представить графически, что упрощает понимание физиологической значимости параметров ЭК. На рис. 2 отображен наиболее простой случай, когда целевые значения сосредоточены в одном диапазоне значений (от 0,16 до 0,42 мс), характеризующие отклонение от физиологического функционирования. Нецелевых случаев данный фактор не имеет. Это позволяет принять данный диапазон целевых значений как одно из условий достижения цели.

В следующем случае целевые и нецелевые случаи разграничены различными областями их определения. В этом случае необходимо провести линию разграничения по середине этих областей определения (рис. 3). В результате линия разграничения со значением равным  $(0,0087 - (-0,017))/2 = 0,012585$  отделяет область целевых и нецелевых значений, тем самым в некоторой степени компенсируя ограниченный объем анализируемых случаев. При этом физиологическому функционированию будет соответствовать диапазон значений слева от вертикальной оси, а отклонение от физиологического функционирования – справа.

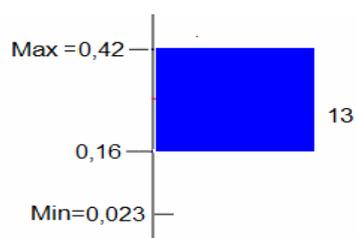


Рис. 2. Фактор X4 – среднее квадратическое отклонение (СКО) симметрии зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс

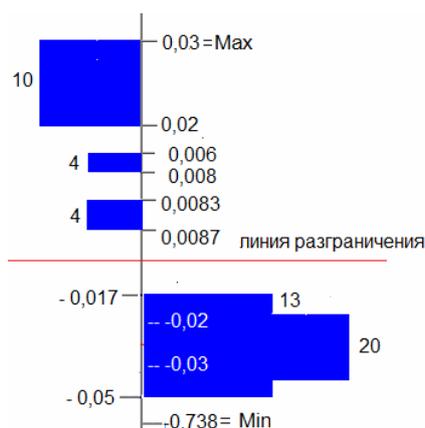


Рис. 3. Фактор X5 – смещение сегмента ST эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс

Аналогичная ситуация наблюдается с факторами X9 и X19 со значениями линии разграничения 0,021 и 1,64 соответственно (рис. 4).

Более сложная и противоречивая ситуация наблюдается с фактором X24— CV – коэффициент вариации (KB),  $KB = \text{СКО} / M \times 100$ , по физиологическому смыслу не отличается от среднего квадратического отклонения, но является показателем, нормированным по частоте пульса. Нормальные значения CV находятся в интервале 3–12 %. Усиление симпатической регуляции – при значениях меньше 3 %. Снижение значений CV обычно происходит при росте психоэмоционального напряжения. Напротив, увеличение этого показателя характеризует рост парасимпатического влияния. В данном случае целевые (Г, Б) и нецелевые (А, В, Д) области чередуются друг с другом и накладываются друг на друга (В и Г) (рис. 5). В этой ситуации мы обязаны из результирующей составляющей (область Г) удалить пересекающуюся часть (показано штрихом). В результате область определения ( $9.58 < X24 < 10.28$ ) уменьшается до величины ( $9.72 < X24 < 10.28$ ).

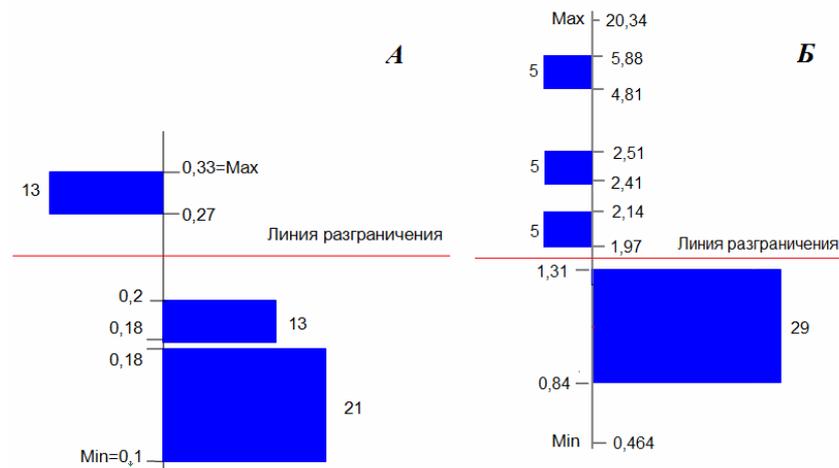


Рис. 4. X9 – продолжительность зубца Т эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, мс (А), X19 – соотношение площадей Т/R эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, ед. (Б)

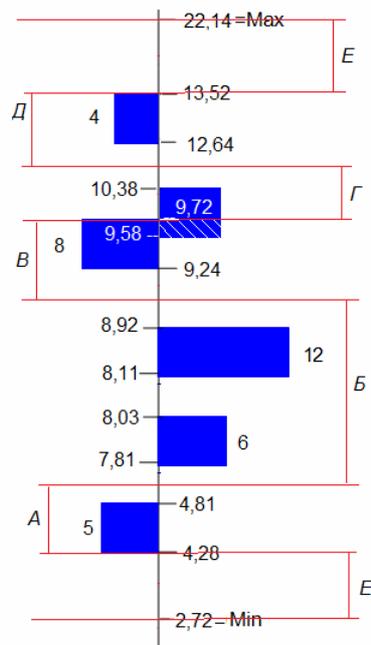


Рис. 5. X24 – коэффициент вариации, CV, %

Наряду с этим на рис. 5 показаны области неопределенности Е (как сверху, так и снизу), которые не анализировались из-за отсутствия данных в указанных

диапазонах. Вероятно, данный показатель, вошедший в результирующие показатели математической модели различий исследуемых обучающихся, информативен, однако требует дальнейшего изучения и уточнения его количественных диапазонов, характеризующих физиологическое функционирование.

Таким образом, было выявлено, что показатели ЭКГ, характеризующие зубцы Т и R, а также показатель суммарного эффекта вегетативной регуляции в определенных диапазонах могут являться маркерами нарушения кардиогемодинамического функционирования у обучающихся при их выявлении в условиях скрининг-исследования, а АМКЛ может явиться эффективным инструментом верифицирования инновационных параметров функционирования и их физиологической интерпретации.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Главные результирующие составляющие полученной математической модели характеризуют сниженные резервы сердечно-сосудистой системы и ее регуляции при скрининг-исследованиях у школьников.
2. Графическое представление полной математической модели позволяет наглядно представить результат и внести коррективы в количественные диапазоны определения факторов и в определенной степени компенсировать недостаточное количество анализируемых случаев.
3. Данная математическая модель представлена несочетанными факторами, что упрощает интерпретацию результата.
4. Представленный аналитический расчет одновременно является методикой анализа и по мере накопления исходных данных позволяет уточнять полученные результаты.
5. Значения факторов в выявленных диапазонах можно считать критерием отклонения от оптимального функционирования, а показатели, принятые в данном анализе за факторы, характеризовать как индикаторы снижения функциональных резервов регуляции кардиогемодинамики у школьников 10–16 лет.
6. Показатель СКО симметрии зубца Т фазового портрета одноканальной ЭКГ, показатели эталонного кардиоцикла – T/R (ед.), смещение ST (мс), показатель продолжительности зубца Т эталонного кардиоцикла и показатель variability сердечного ритма CV (%) можно рассматривать как информативные показатели – индикаторы повышения риска патологии кардиогемодинамического функционирования.

*Результаты получены в рамках проекта «Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» на 2015–2024 годы «Поддержка академической мобильности работников университета на заявительной основе – ПМР» ГСУ/2016/7» на базе Медицинского института Тульского Государственного Университета*

Список литературы

1. Yong people's health in context. Health behavior in school aged Children (BSC) study: international report from 2001/2002 survey/ [Ed / Candace Currie et al.] – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2007. – 270 p.
2. Гайдашев А. Э. Возможности, значение и роль скрининговых исследований в Центрах Здоровья для снижения уровня преждевременной заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний / А. Э. Гайдашев, Ю. Ф. Сахно, И. С. Решетников // Функциональная диагностика. – 2010. – № 3 – С. 1–7.
3. Агаджанян Н. А. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
4. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – К.: Образование Украины, 2013. – 190 с.
5. Хромушин В. А. Оптимизация алгебраической модели конструктивной логики / В. А. Хромушин, В. Ф. Бучель, А. С. Дзасохов, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2014. – № 1. Публикация 1–1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4710.pdf> (Дата обращения: 15.07.2017). DOI: 10.12737/2691
6. Хромушин В. А. Программа построения алгебраических моделей конструктивной логики в биофизике, биологии и медицине / В. А. Хромушин, В. Ф. Бучель, В. А. Жеребцова, Т. В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – № 4. – С. 173–174.
7. Хромушин В. А. Алгоритм и программа анализа результирующих импликант алгебраической модели конструктивной логики // XXXXVI научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ «Общественное здоровье и здравоохранение: профилактическая и клиническая медицина» / В. А. Хромушин, О. В. Хромушин, Е. И. Минаков // Сборник статей. – Тула, 2010. – С. 138–148.
8. Хромушин В. А. Методология обработки информации медицинских регистров / В. А. Хромушин. – Тула. – 2005. – 120 с.
9. Хромушин В. А. Информатизация здравоохранения / В. А. Хромушин, А. В. Черешнев, Т. В. Честнова. – Уч.пос.Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 207 с.
10. Минина Е. Н. Оптимизация скрининг-оценки кардиогемодинамики с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Е. Н. Минина; под ред. проф. А. А. Хадарцева, В. А. Хромушина. – М.: Русайнс, 2017. – 144 с.
11. Китанина К. Ю. Разработка методики углубленного многофакторного анализа первичной инвалидности с использованием усовершенствованной методики обобщенной оценки показателей здравоохранения и алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, О. И. Литвяк, Е. Н. Овсянникова // Медико-социальные проблемы инвалидности. – 2012. – №4. – С. 40–45.
12. Ранцева Л. К. Алгоритм обобщенной оценки отклонений от значения медицинских факторов в норме / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – № 3. Публикация 1–4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-4.pdf> (дата обращения: 24.08.2016). DOI:10.12737/ 21276.
13. Ранцева Л. К. Алгоритм и программа расчета обобщенной оценки отклонений от значения факторов в норме / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Инновации в науке: сб. ст. по матер. LVIII междунар. науч.-практ. конф. – № 6 (55). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 58–68.
14. Ранцева Л. К. Способ сравнительного многофакторного анализа в медицине с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Л. К. Ранцева, К. А. Хадарцева, К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – № 2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-4.pdf>.
15. Минина Е. Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е. Н. Минина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. – 2013. – Т. 26 (65), № 2. – С.148–153.

16. Минина Е. Н. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы / Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21–3. – С. – 22–27.
17. Файнзильберг Л. С. Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда / Л. С. Файнзильберг, Е. Н. Минина // Клиническая информатика и телемедицина. – 2013. – Т. 9, № 10. – С. 33–42.
18. Файнзильберг Л. С. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы по величине разброса фазовых траекторий одноканальной ЭКГ / Л. С. Файнзильберг, Е. Н. Минина // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – № 1. – С. 5–19.
19. Минина Е. Н. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ // Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Российский кардиологический журнал. – 2015. – Т. 12 (128). – С. 7–13.
20. Минина Е. Н. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы // Е. Н. Минина, Л. С. Файнзильберг // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21, №3. – С. 22–26.

### **PHYSIOLOGICAL OBJECTIFICATION OF THE REFERENCE CARDIAC CYCLE OF A SINGLE-CHANNEL ECG's PARAMETERS USING THE ALGEBRAIC MODEL OF CONSTRUCTIVE LOGIC**

*Minina E. N.*

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

Identify the level of functional reserves of the myocardium and quantitative assessment has important diagnostic value in the timely prevention of heart disease, with optimal dosing of physical exercise, sports tensions and determining the effectiveness of rehabilitation measures. The indicators of the reference cardiac cycle can be used as a estimation criterion of the functional reserves of the myocardium and efficiency of correction influences, and the construction of a mathematical model using algebraic models of constructive logic (AMCL) is an effective method of change markers verification.

Multivariate analysis, including algebraic model of constructive logic, is often used in medical practice and biological research. To carry out such studies, it is necessary a array of source information (analyzed cases) and purpose, which is most often selected one of the values of the factors. At the same time, in the practice of analytical calculations there are cases when the target value cannot be set explicitly. The proposed method is based on counting the number of instances of each value of each factor and their share in the total number of cases. The product of the assessed values of each involved factor, compared with the set of the threshold value, determines a value corresponding to the achievement of the goal. To confirm the proposed method on the array of 7440 indicators, the authors built a mathematical model using algebraic model of constructive logic. Evaluation of a mathematical model confirmed the performance of the proposed method of calculating the target value, since the simulation results are most consistent with known estimates obtained by other methods.

At the same time, the presented analytical calculation is an analysis technique and, as the initial data accumulates, allows us to refine the results. The values of the factors identified in the bands can be considered as the criterion of deviation from the optimal functioning, and the indicators adopted in this analysis as factors, characterized as a decrease in indicators of functional reserves cardiohemodynamics regulation among students of 10–16 years old. The indicator of the RMS  $\beta_T$  of the phase portrait of the single-channel ECG, the parameters of the reference cardiac cycle – T / R (unit), ST offset (ms), duration of the T wave of the reference cardiac cycle and heart rate variability CV (%) can be considered as informative indicators of increased the risk of cardiohemodynamic functioning's pathology.

**Keywords:** reference cardiocycle, algebraic model of constructive logic, cardiorespiratory system, the range of physiological functioning.

### References

1. *Yong people's health in context*. Health behavior in school aged Children BSC) study: international report from 2001/2002 survey/ [Ed / Candace Currie et al.], 270 (Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2007).
2. Gajdashev A. HE., Sahno YU. F., Reshetnikov I. S. Vozmozhnosti, znachenie i rol' skringovoyh issledovaniy v Centrah Zdorov'ya dlya snizheniya urovnya prezhddevremennoj zaboлеваemosti i smertnosti ot kardiovaskulyarnykh zaboлевaniy, *Funkcional'naya diagnostika*, **3**, 1 (2010).
3. Agadzhanyan N. A., Baevskij P. M., Berseneva A. P. *Ocenka adaptacionnykh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zaboлевaniy*, 284 (M.: Izd-vo RUDN, 2006).
4. Fajnzil'berg L. S. *Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu ehlektrokardiogrammy*, 190 (K. Osvita Ukrainy, 2013).
5. Hromushin V. A., Buchel' V. F., Dzasohov A. S., Hromushin O. V. Optimizaciya algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*. EHlektronnoe izdanie, 2014, **1**. Publikaciya 1-1. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4710.pdf> (Data obrashcheniya: 15.07.2017). DOI: 10.12737/2691
6. Hromushin V. A., Buchel' V. F., Zherebcova V. A., Chestnova T. V. Programma postroeniya algebraicheskikh modelej konstruktivnoj logiki v biofizike, biologii i medicine, *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*, **4**, 173 (2008).
7. Hromushin V. A., Hromushin O. V., Minakov E. I. Algoritm i programma analiza rezul'tiruyushchih implikant algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *XXXXVI nauchno-prakticheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava TulGU «Obshchestvennoe zdorov'e i zdavoohranenie: profilakticheskaya i klinicheskaya medicina»*, 138 (Sbornik statej. Tula, 2010).
8. Hromushin V. A. *Metodologiya obrabotki informacii medicinskih registrov*, 120 (Tula. 2005).
9. Hromushin V. A., Chereshev A. V., Chestnova T. V. *Informatizaciya zdavoohraneniya*, 207 (Uch.pos.Tula: Izd-vo TulGU, 2007).
10. Minina E. N. Optimizaciya skringing-ocenki kardiogemodinamiki s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki», pod red. prof. A. A. Hadarceva, V. A. Hromushina, 144 (Moskva : RUSAJNS, 2017).
11. Kitanina K. YU., Hromushin V. A., Litvyak O. I., Ovsyannikova E. N. Razrabotka metodiki uglublennogo mnogofaktornogo analiza pervichnoj invalidnosti, s ispol'zovaniem usovershenstvovannoy metodiki obobshchennoj ocenki pokazatelej zdavoohraneniya i algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Mediko-social'nye problemy invalidnosti*, **4**, 40 (2012).
12. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Algoritm obobshchennoj ocenki otklonenij ot znacheniya medicinskih faktorov v norme, *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*. EHlektronnoe izdanie, **3**, 2016. Publikaciya 1-4. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-4.pdf> (data obrashcheniya: 24.08.2016). DOI:10.12737/ 21276.

13. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Algoritm i programma raschyota obobshchyonnoj ocenki otklonenij ot znacheniya faktorov v norme, *Innovacii v nauke: sb. st. po mater. LVIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, **6(55)**, 58 (Novosibirsk: SibAK, 2016).
14. Ranneva L. K., Hadarceva K. A., Kitanina K. YU., Hromushin V. A. Sposob sravnitel'nogo mnogofaktornogo analiza v medicine s ispol'zovaniem algebraicheskoj modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **2**, 2016. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-4.pdf>.
15. Minina E.N. Analiz volny T EHKG v fazovom prostranstve v opredelenii funkcional'nyh rezervov miokarda, *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*, 26 (65), **2**, 148 (2013).
16. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Fazovyj portret odnokanal'noj EHKG v ocenke funkcional'nyh rezervov serdechno-sosudistoj sistemy, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij*, **21-3**, 22 (2014).
17. Fajnzil'berg L. S., Minina E. N. Issledovanie diagnosticheskoj cennosti ugla orientacii fazovogo portreta odnokanal'noj EHKG kak indikatora funkcional'nogo sostoyaniya miokarda, *Klinicheskaya informatika i telemedicina.*, 9, **10**, 33 (2013).
18. Fajnzil'berg L. S., Minina E. N. Ocenka funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy po velichine razbrosa fazovyh traektorij odnokanal'noj EHKG, *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*, **1**, 5 (2014).
19. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Analiz funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy po sovokupnosti priznakov fazovogo portreta odnokanal'noj EHKG, *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal.*, **12** (128), 7 (2015).
20. Minina E. N., Fajnzil'berg L. S. Fazovyj portret odnokanal'noj EHKG v ocenke funkcional'nyh rezervov serdechno-sosudistoj sistemy, *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij.*, **21-3**, 22 (2014).

**УДК 612.821**

**ОСОБЕННОСТИ ФРОНТО-ПАРИЕТАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА  
И МЕЖПОЛУШАРНОЙ АСИММЕТРИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У  
ДЕТЕЙ-СИРОТ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ**

*Михайлова А. А.<sup>1</sup>, Белалов В. В.<sup>2</sup>, Куличенко А. М.<sup>1</sup>, Дягилева Ю. О.<sup>1</sup>,  
Орехова Л. С.<sup>1</sup>, Павленко В. Б.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup>*Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*  
*E-mail: anna.kulenkova@gmail.com*

Исследованы особенности показателей межполушарной асимметрии и фронто-париетального градиента электроэнцефалограммы (ЭЭГ), зарегистрированной в состоянии устойчивого зрительного внимания у детей-сирот и детей, воспитывающихся в семьях, в возрасте от полутора до трех лет. У детей обеих групп выявлена большая активация фронтальных областей неокортекса по сравнению с парietальными в правом полушарии (в локусе F4 мощность альфа-ритма меньше, чем в P4). У детей-сирот по сравнению с детьми контрольной группы выявлена большая активация парietальных областей неокортекса левого полушария (в локусе P3 мощность альфа-ритма меньше, чем в P4), но слабо выражена асимметрия альфа-ритма ЭЭГ во фронтальных отведениях. Выявленные различия в показателях фронто-париетального градиента и межполушарной асимметрии ЭЭГ могут быть связаны с меньшей степенью проявления эмоций избегания у детей-сирот в условиях эксперимента. Такая реакция в раннем возрасте может быть проявлением «неизбирательного дружелюбия».

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, межполушарная асимметрия, фронто-париетальный градиент, дети-сироты.

**ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что активным периодом развития мозга ребенка являются первые годы жизни. На ранних этапах постнатального онтогенеза происходят процессы миелинизации аксонов и синаптогенеза с последующей конкурентной элиминацией синаптических контактов [1]. Клеточно-молекулярные механизмы этих процессов как генетически детерминированы [2], так и во многом зависят от влияния средовых факторов [3]. Негативные факторы воспитательной среды в раннем возрасте могут оказывать отрицательное влияние на созревание неокортекса, подкорковых структур и медиаторных систем мозга [4–7]. Специфические условия воспитания, отличающиеся от условий воспитания ребенка в семье, присутствуют в детских домах. У детей-сирот, проживающих в детском доме, часто присутствуют отклонения в когнитивном и психоэмоциональном развитии, поэтому исследование нейрофизиологических особенностей развития таких детей представляет

значительный интерес. Ранее нами было установлено, что биоэлектрическая активность мозга детей-сирот отличается по сравнению с детьми, воспитывающимися в семьях. При этом мы проводили анализ показателей относительной мощности электроэнцефалограммы (ЭЭГ), зарегистрированной в состоянии устойчивого зрительного внимания (УЗВ) [8]. Другими авторами было выявлено, что особенности психоэмоционального развития и социального поведения могут также отражаться в показателях фронто-париетального градиента и межполушарной асимметрии ЭЭГ [9–12]. В связи с этим целесообразно провести анализ особенностей этих показателей ЭЭГ у детей-сирот по сравнению с детьми, воспитывающимися в нормальных социальных условиях.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 104 ребенка: 53 ребенка контрольной группы – дети, воспитывающиеся в семьях (28 мальчиков и 25 девочек), и 51 ребенок основной группы – дети-сироты, воспитывающиеся в Доме ребенка «Елочка» г. Симферополя (32 мальчика и 19 девочек). Средний возраст детей в контрольной группе составил  $30,1 \pm 5,5$  месяцев, а в основной –  $30,7 \pm 4,7$  месяцев. Запись ЭЭГ проводили в состоянии УЗВ ребенка. Для достижения УЗВ во время регистрации ЭЭГ детей просили смотреть на экран компьютера, где показывали видеозапись вращающегося мяча с меняющимся геометрическим рисунком. Такая методика применяется многими исследователями для регистрации ЭЭГ у маленьких детей [13; 14]. Запись ЭЭГ осуществляли с помощью телеметрического 16-канального электроэнцефалографа (производство фирмы «Тредекс»). Для обработки и анализа ЭЭГ использовали программу «EEG Mapping 6» (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от лобных полюсных ( $F_{p1}$ ,  $F_{p2}$ ), фронтальных ( $F_3$ ,  $F_4$ ), задних нижнелобных ( $F_7$ ,  $F_8$ ), центральных ( $C_3$ ,  $C_4$ ), средневисочных ( $T_3$ ,  $T_4$ ), задневисочных ( $T_5$ ,  $T_6$ ), теменных ( $P_3$ ,  $P_4$ ) и затылочных ( $O_1$ ,  $O_2$ ) отведений, расположенных в соответствии с международной системой «10–20». В качестве референтного использовался виртуальный электрод, сигнал которого был равен усредненному по всем отведениям потенциалу (усредненный референт).

Сигналы обрабатывали с помощью быстрого преобразования Фурье. Длительность каждой записи составляла не менее 60 с. Предварительно проводили визуальную оценку ЭЭГ. Записи ЭЭГ, содержащие большое количество артефактов, исключались из обработки. В выборку включали записи, содержащие ряд безартефактных отрезков общей длительностью от 40 до 60 с.

Фронто-париетальный градиент и межполушарную асимметрию ЭЭГ рассчитывали в соответствии с общепринятой методикой из показателей мощности альфа-ритма (частота 6–9 Гц) по формулам:  $\ln[P_4] - \ln[F_4]$ ;  $\ln[P_3] - \ln[F_3]$ ;  $\ln[F_4] - \ln[F_3]$ ;  $\ln[P_4] - \ln[P_3]$  [9, 10, 15, 16].

Статистическую обработку данных проводили с применением дисперсионного анализа (ANOVA).

Настоящая работа выполнена при поддержке программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР» в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При статистическом анализе фронто-париетального градиента ЭЭГ у детей-сирот по сравнению с детьми, воспитываемыми в семьях, различия не достигали статистической значимости по данному показателю ( $F(1,81)=0,52$ ,  $p=0,47$ ) (рис. 1). При этом у детей-сирот по сравнению с детьми контрольной группы отмечается тенденция меньшей активации фронтальных областей по отношению к париетальным в правом полушарии (рис. 1, фрагмент P4-F4).

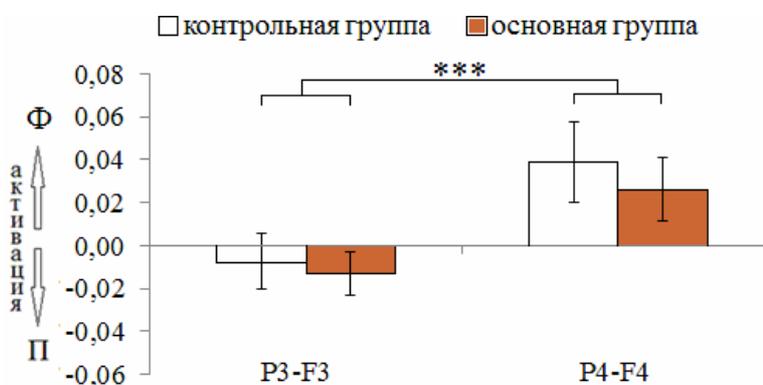


Рис. 1. Фронто-париетальный градиент ЭЭГ в правом (P4-F4) и левом (P3-F3) полушариях у детей контрольной и основной групп. Ф – большая активация фронтальных областей (мощность альфа-ритма больше в париетальных локусах), П – большая активация париетальных областей (мощность альфа-ритма больше во фронтальных локусах); \*\*\* – статистически значимые различия показателей фронто-париетального градиента в правом и левом полушарии при  $p \leq 0,001$  (дисперсионный анализ, ANOVA)

Нами выявлено значимое влияние фактора «полушарие» на показатели фронто-париетального градиента ЭЭГ у испытуемых обеих групп (рис. 1). При этом в правом полушарии больше активированы фронтальные области (в отведении F4 мощность альфа-ритма меньше, чем в P4), а в левом – париетальные области коры (в отведении P3 мощность альфа-ритма меньше, чем в F3) ( $F(1, 81) = 11,9$ ,  $p = 0,001$ ). Большая выраженность фронто-париетального градиента ЭЭГ в правом полушарии

по сравнению с левым может свидетельствовать о связи эмоций избегания с активацией фронтальных областей неокортекса левого полушария.

Выявлены особенности фронтальной и парietальной межполушарной асимметрии ЭЭГ у испытуемых исследуемых групп (рис. 2). При анализе фронтальной межполушарной асимметрии ЭЭГ (рис. 2, фрагмент F4-F3) установлено, что у детей-сирот практически не выражена асимметрия альфа-ритма ЭЭГ во фронтальных отведениях. У детей контрольной группы преобладает активация во фронтальных отведениях правого полушария (в отведении F4 мощность альфа-ритма ниже, чем в отведении F3). При этом выявлено значимое влияние фактора «среда» на фронтальную межполушарную асимметрию ЭЭГ ( $F(1, 83) = 7,8, p = 0,006$ ). При анализе парietальной межполушарной асимметрии ЭЭГ (рис. 2, фрагмент P4-P3) установлено, что у детей-сирот больше активирована парietальная область левого полушария (в отведении P3 мощность альфа-ритма ниже, чем в отведении P4). У детей контрольной группы выражена парietальная асимметрия с большей активацией парietальной области правого полушария (в отведении P4 мощность альфа-ритма ниже, чем в отведении P3). Выявлено значимое влияние фактора «среда» на парietальную межполушарную асимметрию ЭЭГ ( $F(1, 84) = 6,1, p = 0,015$ ). Таким образом, у детей исследованных групп парietальная межполушарная асимметрия разнонаправленная: у детей-сирот преобладает активация левого полушария (в отведении P3 мощность альфа-ритма ниже, чем в отведении P4), у детей контрольной группы – правого (в отведении P4 мощность альфа-ритма ниже, чем в отведении P3).

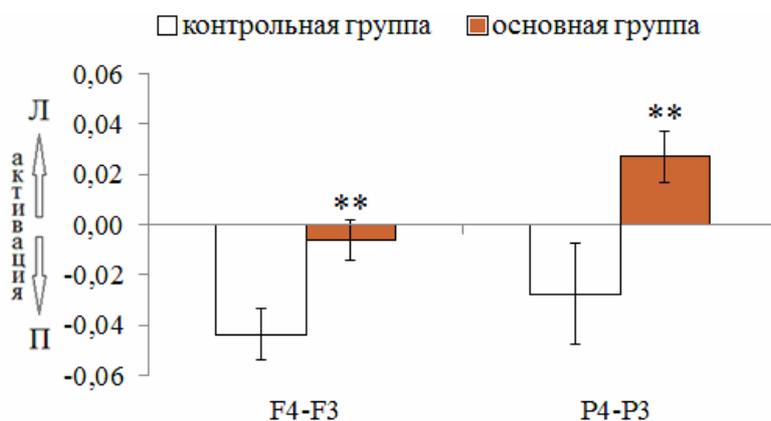


Рис. 2. ЭЭГ-асимметрия (по вертикали) во фронтальных (F4-F3) и парietальных (P4-P3) локусах у детей контрольной и основной групп. Приведены средние значения  $\pm$  стандартная ошибка; Л – большая активация левого полушария (мощность альфа-ритма больше в правом полушарии), П – большая активация правого полушария (мощность альфа-ритма больше в левом полушарии); \*\* – значимое влияние фактора «среда» при  $p \leq 0,01$  (дисперсионный анализ ANOVA)

Следует отметить, что дети при регистрации ЭЭГ находились в присутствии

незнакомому для них экспериментатора. При этом дети-сироты выглядели менее встревоженными по сравнению с детьми, воспитывающимися в семьях. Ранее другими авторами было выдвинуто предположение о том, что большая активация фронтальных областей неокортекса левого полушария связана с эмоциями «поведенческого приближения», а большая активация фронтальной коры правого полушария – с эмоциями «поведенческого избегания» [17]. Также в других работах при исследовании межполушарной асимметрии в парietальных областях коры было выявлено, что у девочек с большей активацией в парietальной области правого полушария был выше уровень «отрицательной эмоциональности» [16]. Возможно, выявленная в настоящем исследовании меньшая активация фронтальной и парietальной областей правого полушария у детей-сирот по сравнению с детьми контрольной группы связана с меньшей выраженностью эмоций «избегания» в условиях эксперимента. Однако такая реакция у большинства детей-сирот по отношению к незнакомому человеку и ситуации в раннем возрасте может быть проявлением так называемого «синдрома сиротства» («institutional deprivation syndrome»). Данный синдром включает «неразборчивое дружелюбие», нарушения внимания и квазиаутичное поведение [18, 19].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены особенности показателей фронто-парietального градиента и межполушарной асимметрии ЭЭГ, зарегистрированной в состоянии устойчивого зрительного внимания у детей-сирот, воспитывающихся в детском доме, и детей, воспитывающихся в семьях.
2. У детей обеих групп выявлена большая активация фронтальных областей неокортекса по сравнению с парietальными в правом полушарии (в локусе F4 мощность альфа-ритма меньше, чем в P4).
3. У детей-сирот по сравнению с детьми контрольной группы выявлена большая активация парietальных областей неокортекса левого полушария (в локусе P3 мощность альфа-ритма меньше, чем в P4), но слабо выражена межполушарная асимметрия альфа-ритма ЭЭГ во фронтальных отведениях.
4. Выявленные различия в показателях фронто-парietального градиента и межполушарной асимметрии ЭЭГ могут быть связаны с меньшей степенью проявления эмоций «избегания» у детей-сирот в условиях эксперимента. Такая реакция в раннем возрасте может быть проявлением «синдрома сиротства», в частности такого его проявления, как «неизбирательное дружелюбие».

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

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

## Список литературы

1. Lenroot R. K. Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging / R. K. Lenroot, J. N. Giedd // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2006. – V. 30. – P. 718-729.
2. Baldwin K. T. Molecular mechanisms of astrocyte-induced synaptogenesis / K. T. Baldwin, C. Eroglu // *Current Opinion in Neurobiology*. – 2017. – V. 45. – P. 113-120.
3. Johnson F. K. Early life stress perturbs the function of microglia in the developing rodent brain: New insights and future challenges / F. K. Johnson, A. Kaffman // *Brain Behav. Immun.* – 2017. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbi.2017.06.008>].
4. Eluvathingal T. J. Abnormal brain connectivity in children after early severe socioemotional deprivation: a diffusion tensor imaging study / T. J. Eluvathingal, H. T. Chugani, M. E. Behen [et al.] // *Pediatrics*. – 2006. – V. 117, № 6. – P. 2093-2100.
5. Hanson J. L. Behavioral problems after early life stress: contributions of the hippocampus and amygdale / J. L. Hanson, B. M. Nacewicz, M. J. Sutterer [et al.] // *Biol. Psychiatry*. – 2015. – V. 77, № 4. – P. 314-323.
6. Hodel A. S. Duration of early adversity and structural brain development in post-institutionalized adolescents / A. S. Hodel, R. H. Hunt, R. A. Cowell [et al.] // *Neuroimage*. – 2015. – V. 105. – P. 112-119.
7. Waltes R. The neurobiological basis of human aggression: a review on genetic and epigenetic mechanisms / R. Waltes, A. G. Chiochetti, C. M. Freitag // *Am J Med Genet*. – 2016 – V. 171B. – P. 650-675.
8. Куленкова А. А. Особенности биоэлектрической активности мозга детей раннего возраста, воспитывающихся в детском доме / А. А. Куленкова, Ю. О. Дягилева, В. Б. Павленко // *ЖВНД* – 2015. – Т. 65, № 5. – С. 607-615.
9. Knyazev G. G. Antero-posterior EEG spectral power gradient as a correlate of extraversion and behavioral inhibition / G. G. Knyazev // *The Open Neuroimaging Journal*. – 2010. – V. 4. – P. 114-120.
10. Knyazev G. G. Extraversion and fronto-posterior EEG spectral power gradient: An independent component analysis / G. G. Knyazev, A. V. Bocharov, L. V. Pylkova // *Biological Psychology*. – 2012. – V. 89. – P. 515-524.
11. Coan J. A. A capability model of individual differences in frontal EEG-asymmetry / J. A. Coan, J. J. Allen, P. E. McKnight // *Biol. Psychol.* – 2006. – V. 72. – P. 198-207.
12. Henderson H. A. Temperamental contributions to social behavior: The moderating roles of frontal EEG asymmetry and gender / H. A. Henderson, N. A. Fox, K. H. Rubin // *J. Am. Acad. Child. Psy.* – 2001. – V. 40. – P. 68-74.
13. Marshall P. J. Effects of early intervention on EEG power and coherence in previously institutionalized children in Romania / P. J. Marshall, B. C. Reeb, N. A. Fox [et al.] // *Dev. Psychopathol.* – 2008. – V. 20, № 3. – P. 861-880.
14. Orekhova E. V. EEG theta rhythm in infants and preschool children / E. V. Orekhova, T. A. Stroganova, I. N. Posikera, M. Elam // *Clin. Neurophysiol.* – 2006. – V.117, № 5 – P. 1047-1062.
15. Theall-Honey L. A. Do temperamentally shy children process emotion differently than nonshy children? Behavioral, psychophysiological, and gender differences in reticent preschoolers / L. A. Theall-Honey, L. A. Schmidt // *Dev. Psychobiol.* – 2006. – V. 48, № 3. – P. 187-196.
16. Shankman S. A. Do positive and negative temperament traits interact in predicting risk for depression? A resting EEG study of 329 preschoolers / S. A. Shankman, D. N. Klein, D. C. Torpey [et al.] // *Dev. Psychopathol.* – 2011. – V. 23, № 2. – P. 551-562.
17. Davidson R. J. Emotion and affective style: Hemispheric substrates / R. J. Davidson // *Psychol. Sci.* – 1992. – V. 3. – P. 39-43.
18. Rutter M. Deprivation-specific psychological patterns: Effects of institutional deprivation / M. Rutter, E. J. Sonuga-Barke, C. Beckett [et al.] // *Monogr. Soc. Res. Child Dev.* – 2010. – P. 1-252.
19. Berens A. E. The science of early adversity: is there a role for large institutions in the care of vulnerable children? / A. E. Berens, C. A. Nelson // *Lancet*. – 2015 – V. 386, № 9991. – P. 338-398.

EEG FRONTO-PARIETAL GRADIENT AND INTERHEMISPHERIC  
ASYMMETRY PATTERNS IN ORPHANS AT AN EARLY AGE

Mikhailova A. A., Belalov V. V., Kulichenko A. M., Dyagileva Yu. O., Orekhova L. S.,  
Pavlenko V. B.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: anna.kulenkova@gmail.com

We have studied the patterns of the EEG interhemispheric asymmetry and fronto-parietal gradient recorded under condition of sustained visual attention in the institutionally-reared (32 boys and 19 girls) and family-reared (28 boys and 25 girls) children aged from 1.5 to 3 years. Both groups had an increased activation of the neocortex frontal areas in comparison with the parietal ones in the right hemisphere (alpha-rhythm power in locus F4 was higher than in P4). Alpha-rhythm interhemispheric asymmetry in the frontal areas was relatively weak in the institutionally-reared children, while the family-reared children had a significantly higher activation in the frontal areas of the right hemisphere (alpha-rhythm power in F4 higher than in F3). The parietal interhemispheric asymmetry differed between the groups so that the orphans had higher activation in the left hemisphere (alpha-rhythm power in P4 higher than in P3) and the family-reared children had higher activation in the right hemisphere (alpha-rhythm power in P3 higher than in P4). The found differences in the EEG fronto-parietal gradient and interhemispheric asymmetry might be related to the less expressed emotion of withdrawal in orphans under experimental conditions. Such type of response in the early age may be a result of an institutional deprivation syndrome, in particular the phenomenon of indiscriminate friendliness characteristic for it.

**Keywords:** electroencephalogram, interhemispheric asymmetry, fronto-parietal gradient, institution-reared children.

References

1. Lenroot R. K., Giedd J. N. Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. **30**, 718 (2006).
2. Baldwin K. T., Eroglu C. Molecular mechanisms of astrocyte-induced synaptogenesis. *Current Opinion in Neurobiology*. **45**, 113 (2017).
3. Johnson F. K., Kaffman A. Early life stress perturbs the function of microglia in the developing rodent brain: New insights and future challenges. *Brain Behav. Immun.* (2017) [<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbi.2017.06.008>].
4. Eluvathingal T. J., Chugani H. T., Behen M. E. [et al.] Abnormal brain connectivity in children after early severe socioemotional deprivation: a diffusion tensor imaging study. *Pediatrics*. **117**(6), 2093 (2006).
5. Hanson J. L., Nacewicz B. M., Sutterer M. J. [et al.] Behavioral problems after early life stress: contributions of the hippocampus and amygdale. *Biol. Psychiatry*. **77** (4), 314 (2015).
6. Hodel A. S., Hunt R. H., Cowell R. A. [et al.] Duration of early adversity and structural brain development in post-institutionalized adolescents. *Neuroimage*. **105**, 112 (2015).
7. Waltes R., Chiocchetti A. G., Freitag C. M. The neurobiological basis of human aggression: a review on genetic and epigenetic mechanisms. *Am J Med Genet*. **171B**, 650 (2016).
8. Kulenkova A. A., Dyagileva Yu. O., Pavlenko V. B. [et al.] Brain bioelectrical activity in early childhood specific for children living in orphanages. *Zh Vyssh Nerv Deiat Im I P Pavlova*. **65** (5), 607 (2015).

9. Knyazev G. G. Antero-posterior EEG spectral power gradient as a correlate of extraversion and behavioral inhibition. *The Open Neuroimaging Journal*. **4**, 114 (2010).
10. Knyazev G. G., Bocharov A. V., Pylkova L. V. Extraversion and fronto-posterior EEG spectral power gradient: An independent component analysis. *Biological Psychology*, **89**, 515 (2012).
11. Coan J. A., Allen J. J., McKnight P. E. A capability model of individual differences in frontal EEG-asymmetry. *Biol. Psychol.* **72**, 198 (2006).
12. Henderson H. A., Fox N. A., Rubin K. H. Temperamental contributions to social behavior: The moderating roles of frontal EEG asymmetry and gender. *J. Am. Acad. Child. Psy.* **40**, 68 (2001).
13. Marshall P. J., Reeb B. C., Fox N. A. [et al.] Effects of early intervention on EEG power and coherence in previously institutionalized children in Romania. *Dev. Psychopathol.* **20**, 861 (2008).
14. Orekhova E. V., Stroganova T. A., Posikera I. N., Elam M. EEG theta rhythm in infants and preschool children. *Clin. Neurophysiol.* **117** (5), 1047 (2006).
15. Theall-Honey L. A., Schmidt L. A. Do temperamentally shy children process emotion differently than nonshy children? Behavioral, psychophysiological, and gender differences in reticent preschoolers. *Dev. Psychobiol.* **48** (3), 187 (2006).
16. Shankman S. A., Klein D. N., Torpey D. C. [et al.] Do positive and negative temperament traits interact in predicting risk for depression? A resting EEG study of 329 preschoolers. *Dev. Psychopathol.* **23** (2), 551 (2011).
17. Davidson R. J. Emotion and affective style: Hemispheric substrates. *Psychol. Sci.* **3**, 39 (1992).
18. Rutter M., Sonuga-Barke E. J., Beckett C. [et al.] Deprivation-specific psychological patterns: Effects of institutional deprivation. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.*, 252 (2010).
19. Berens A. E., Nelson C. A. The science of early adversity: is there a role for large institutions in the care of vulnerable children? *Lancet.* **386** (9991), 338 (2015).

**УДК 635.925:477.75**

## **ДЕКОРАТИВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ ПОС. СОЛНЕЧНАЯ ДОЛИНА (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ КРЫМ)**

*Потапенко И. Л., Летухова В. Ю.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Карадагская научная станция  
им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», Феодосия, пгт Курортное, Россия  
E-mail: ira\_potapenko@mail.ru*

Определен таксономический состав и формовое разнообразие дендрофлоры пос. Солнечная Долина (Юго-Восточный Крым) – 73 вида и 9 культиваров, относящихся к 56 родам 34 семейств. Приводится список декоративных древесных растений, используемых в различных объектах зеленого строительства, их состояние, а также частота встречаемости видов и форм. Предложены пути оптимизации зеленых насаждений поселка.

**Ключевые слова:** дендрофлора, декоративные деревья и кустарники, озеленение, Солнечная Долина, Юго-Восточный Крым.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что зеленые насаждения оказывают весьма разностороннее позитивное влияние на климат города, поселка, деревни. Однако в последние десятилетия благоустройству и озеленению городов и поселков Крыма не уделялось должного внимания. И если в городах некоторые работы по озеленению все же проводились, то небольшие поселки оставались вне зоны соответствующего внимания. Нет сомнения, что в ближайшем будущем развитие промышленности, сельского хозяйства и рекреационного потенциала Крымского полуострова повлечет за собой развитие инфраструктуры населенных пунктов, что, в свою очередь, затребует масштабных работ по озеленению. В связи с этим озеленителям понадобится посадочный материал декоративных деревьев и кустарников, хорошо адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона. К сожалению, в последние годы мы наблюдаем слишком «любительский» подход к данному вопросу, совершенно необоснованное использование различных декоративных растений, которые в первые же годы посадки высыхают, вымерзают, утрачивают декоративность. Изучение опыта прошлых лет, особенно советского периода, когда работы по озеленению проводились государственными структурами под руководством ведущих специалистов соответствующих научных организаций (Никитского ботанического сада и др.), будет способствовать развитию зеленого строительства в регионе. Анализ современного состояния деревьев и кустарников в исследуемом населенном пункте поможет ученым предложить научно обоснованный ассортимент древесных растений с учетом наличия новых гибридов, сортов и форм, а также современных тенденций зеленого строительства.

Целью настоящей работы было оценить состояние зеленых насаждений в пос. Солнечная Долина и предложить методы их оптимизации.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Работа была проведена весной 2017 г. на территории пос. Солнечная Долина. Нами обследованы следующие объекты: уличные насаждения, усадьба ОАО «Солнечная Долина», территория детского сада и школы, а также заброшенный городской парк (вероятно, заложен в 70-е гг. прошлого века). При этом определяли видовой состав и формовое разнообразие деревьев и кустарников, оценивали их состояние, а также частоту и способы использования в обследуемых объектах. Данные о поселке получены в городской администрации г. Судака, куда территориально относится пос. Солнечная Долина.

Определение таксономического состава проводилось как в полевых условиях, так и на основании собранного гербарного материала. Видовая принадлежность деревьев и кустарников принята по Черепанову С. К. [1] и Ене А. В. [2]. Сорта и формы садовых роз нами не определялись, отмечено лишь их наличие.

Для определения частоты встречаемости того или иного вида (формы) приняты следующие условные градации: ед. экз. – вид (форма) представлен единичными экземплярами (до 10); дес – в исследуемом объекте десятки (до 100) растений данного вида (формы). Возраст растений определялся примерно, исходя из их таксационных показателей. Некоторые сведения о закладке того или иного объекта зеленого строительства были получены от местных жителей.

При оценке состояния древесных растений использовались некоторые положения «Инструкции по технической инвентаризации зеленых насаждений в городах и поселках городского типа Украины» с нашими доработками. Состояние деревьев и кустарников оценивалось по следующим параметрам: хорошее (хор.) – растения здоровые, нормально развиты; листва (хвоя) густая, равномерно размещена на ветвях; листья (хвоя) нормального размера и окраски; нет признаков болезней и вредителей; повреждений ствола и скелетных ветвей, а также дупел (у деревьев). Удовлетворительное (уд.) – растения с признаками замедленного роста, часто с искривленной кроной; на ветвях мало листьев (хвои) или они изменили окраску (до наступления периода расцветивания листьев); есть сухие и засыхающие ветви, дупла, механические повреждения ствола (у деревьев); отмечено наличие болезней и вредителей. Неудовлетворительное (неуд.) – растения очень ослаблены, стволы искривлены (у деревьев), крона слабо развита либо отсутствует вследствие вымерзания зимой, есть сухие и засыхающие ветви, прирост однолетних побегов незначителен; у деревьев есть механические повреждения ствола, дупла. Состояние таких растений, как плакучая форма шелковицы белой (*M. a. `Pendula`*) и олеандр (*Nerium oleander*) мы не оценивали, т. к. это недавно высаженные молодые растения.

Предложенный ниже ассортимент декоративных деревьев и кустарников для озеленения поселка основан на результатах проведенной работы, собственных исследованиях культивируемой дендрофлоры региона [3–5] и др., а также некоторых данных других авторов [6–10]. Критериями при его подборе были следующие признаки: быстрота роста, засухоустойчивость, морозостойкость,

долговечность, художественно-декоративные признаки предлагаемых растений. Предпочтение отдавалось тем из них, которые достигли в данном регионе значительного возраста, сохраняя при этом декоративность, необходимую для выполнения поставленной задачи (того или иного композиционного решения и т. п.).

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Поселок Солнечная Долина расположен в 12 км восточнее г. Судак в Козской долине, окруженной живописными горными вершинами Парсук-Кая, Эльтиген, Токлук-Сырт, в 4 км от моря и примерно на 1,5 км южнее дороги Алушта – Феодосия и занимает площадь 2, 9587 км<sup>2</sup> (рис. 1.). Согласно переписи населения, проведенной в 2014 году, численность населения Солнечной Долины составляет 1526 человек. Климат Судака и его окрестностей – субсредиземноморский слабоконтинентальный с жарким сухим летом и относительно теплой влажной зимой. Средняя многолетняя годовая температура воздуха здесь составляет 11,9°С, средняя температура наиболее теплого месяца (июля) равна 23,2 °С, наиболее холодного (января) – 1,8°С. Средняя годовая сумма осадков – 318 мм. Количество осадков в теплый период года (апрель – октябрь) несколько выше, чем в холодный период (ноябрь – март) – соответственно 189 и 129 мм. В этом отношении климат здесь отличается от типичных субсредиземноморских климатов Ялты и Алушты, где зимние осадки преобладают [11]. В поселке размещена центральная усадьба бывшего винсовхоза (ныне ОАО «Солнечная Долина»), виноградники которого расположены в Козской, Токлукской и Капсельской долинах – древнейших виноградарских районах, которые всегда славились своими винами.



Рис. 1. Центральная улица поселка и вид на усадьбу ОАО «Солнечная Долина».

**ДЕКОРАТИВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ ПОС. СОЛНЕЧНАЯ ДОЛИНА ...**

В настоящее время ОАО «Солнечная Долина» является крупным винодельческим центром Крыма, слава которого выходит далеко за пределы региона. Здесь производят ряд известных вин: «Архадерессе», «Приват», «Солнечная Долина», «Черный доктор», «Черный полковник» и др., которые неоднократно удостоивались высших оценок на различных международных дегустациях. В Солнечную Долину проложены туристические маршруты, которые знакомят посетителей с историей края, развития в нем виноградарства, виноделия и непосредственно с лучшими образцами вин, для чего здесь построен дегустационный зал и музей.

Основная масса зеленых насаждений поселка формировалась в 70–80-е гг. XX в., исходя из общего габитуса растений, а также по сведениям местных жителей. Дендрофлора исследуемых объектов включает 73 вида и 9 культиваров (форм), относящихся к 56 родам 34 семейств (табл. 1). Наиболее представлены в видовом отношении семейства Rosaceae, Oleaceae, Fabaceae, которые включают 15, 6 и 5 видов соответственно. Остальные семейства представлены 1–4 видами.

**Таблица 1**  
**Деревья и кустарники в зеленых насаждениях пос. Солнечная Долина**

№ п/п	Вид	Семейство	Жизненная форма	усадьба АО «Солнечная Долина»	Школа, детсад	Уличные насаждения	Парк	Состояние
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Acer campestre</i> L.	Sapindaceae	1		ед. экз.			хор.
2	<i>A. negundo</i> L.	– « –	1			ед. экз.		уд.
3	<i>A. pseudoplatanus</i> L.	– « –	1			ед. экз.		хор.
4	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Hippocastanaceae	1	ед. экз.	ед. экз.			хор.
5	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Simaroubaceae	1		ед. экз.	ед. экз.		хор.
6	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	Mimosaceae	1	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.		хор.
7	<i>Betula pendula</i> Roth	Betulaceae	1		ед. экз.			хор.
8	<i>Buxus sempervirens</i> L.	Buxaceae	6	дес.	дес.			неуд.
9	<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.	Bignoniaceae	4		ед. экз.			хор.
10	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) G.Manetti ex Carrière	Pinaceae	5		ед. экз.			уд.
11	<i>C. a. `Glauca`</i>	– « –	5			ед. экз.		уд.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	<i>C. deodara</i> (D. Don) G. Don f.	– « –	5	ед. экз.				хор.
13	<i>Clematis vitalba</i> L.	Ranunculaceae	4	ед. экз.			ед. экз.	хор.
14	<i>Crataegus meyeri</i> Pojark.	Rosaceae	1		ед. экз.			хор.
15	<i>C. monogyna</i> Jacq.	– « –	1				ед. экз.	хор.
16	<i>C. orientalis</i> Pall. ex M. Bieb.	– « –	2				ед. экз.	хор.
17	<i>C. pallasii</i> Griseb.	– « –	2		ед. экз.			хор.
18	<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cupressaceae	5	дес.	ед. экз.	дес.	дес.	хор.
19	<i>C. sempervirens</i> L.	– « –	5			дес.		хор.
20	<i>C. s. `Australis`</i>	– « –	5			ед. экз.		хор.
21	<i>C. s. `Indica`</i>	– « –	5			ед. экз.		хор.
22	<i>C. s. `Pyramidalis`</i>	– « –	5	дес.	ед. экз.	дес.		хор.
23	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Elaeagnaceae	1		ед. экз.	ед. экз.		хор.
24	<i>Euonymus japonica</i> Thunb.	Celastraceae	6		ед. экз.			хор.
25	<i>Ficus carica</i> L.	Moraceae	1	ед. экз.	ед. экз.			неуд.
26	<i>Forsythia x intermedia</i> Zab.	Oleaceae	2	ед. экз.				хор.
27	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl. subs. <i>angustifolia</i>	– « –	1				ед. экз.	хор.
28	<i>F. excelsior</i> L. subs. <i>excelsior</i>	– « –	1	ед. экз.			ед. экз.	хор.
29	<i>F. pensilvanica</i> March.	– « –	1		ед. экз.		ед. экз.	хор.
30	<i>Gleditschia triacanthos</i> L.	Fabaceae	1	ед. экз.				хор.
31	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	Malvaceae	2	ед. экз.	дес.	дес.		хор.
32	<i>Juglans regia</i> L.	Juglandaceae	1	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.		хор.
33	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	Sapindaceae	1	ед. экз.				уд.
34	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Oleaceae	3			ед. экз.	дес.	хор.
35	<i>Lonicera caprifolium</i> L.	Caprifoliaceae	2	ед. экз.				уд.
36	<i>L. fragrantissima</i> Lindl. et Paxt.	– « –	2			ед. экз.	дес.	хор.

ДЕКОРАТИВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ ПОС. СОЛНЕЧНАЯ ДОЛИНА ...

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
37	<i>Lycium barbatum</i> L.	Solanaceae	2				дес.	хор.
38	<i>Maclura pomifera</i> (Raf.) Schneid.	Moraceae	1		ед. экз.		ед. экз.	хор.
39	<i>Malus domestica</i> Borkh.	Rosaceae	1	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.		хор.
40	<i>Morus alba</i> 'Pendula'	Moraceae	1		ед. экз.			-
41	<i>Nerium oleander</i> L.	Apocynaceae	6	ед. экз.				-
42	<i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dick.	Cactaceae	7	ед. экз.				хор.
43	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Vitaceae	4	ед. экз.	ед. экз.			хор.
44	<i>Persica vulgaris</i> Mill.	Rosaceae	1			ед. экз.		хор.
45	<i>Philadelphus coronarius</i> L.	Hydrangeaceae	2	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.		хор.
46	<i>Picea pungens</i> Engelm.	Pinaceae	5			ед. экз.		уд.
47	<i>P. p.</i> 'Glauca'	- « -	5			дес.		уд.
48	<i>Pinus brutia</i> var. <i>pityusa</i> (Steven) Silba	- « -	5		ед. экз.	ед. экз.		хор.
49	<i>Platanus x acerifolia</i> Willd.	Platanaceae	1			дес.		хор.
50	<i>P. orientalis</i> L.	- « -	1			дес.		хор.
51	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	Cupressaceae	5	дес.	дес.	дес.	дес.	хор.
52	<i>P. o.</i> 'Globosa'	- « -	5	дес.	ед. экз.	дес.	дес.	хор.
53	<i>Populus alba</i> L. ( <i>P. bolleana</i> Lauche)	Salicaceae	1		ед. экз.			хор.
54	<i>P. italica</i> (DuRoi) Moench	- « -	1		ед. экз.			хор.
55	<i>Prunus armeniaca</i> L.	Rosaceae	1		ед. экз.	ед. экз.		хор.
56	<i>P. cerasus</i> L.	- « -	1		ед. экз.	ед. экз.		хор.
57	<i>P. cerasifera</i> Ehrh.	- « -	1	ед. экз.	ед. экз.		ед. экз.	хор.
58	<i>P. duclis</i> (Mill.) D.A. Webb	- « -	1		ед. экз.			хор.
59	<i>P. spinosa</i> L.	- « -	2			ед. экз.		хор.
60	<i>Punica granatum</i> L.	Punicaceae	1		ед. экз.			уд.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
61	<i>Pyracantha coccinea</i> Roem.	Rosaceae	3	ед. экз.				хор.
62	<i>Ribes aureum</i> Pursh	Grossulariaceae	2		ед. экз.			хор.
63	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Fabaceae	1		ед. экз.	ед. экз.	дес.	хор.
64	<i>Rosa corymbifera</i> Borkh.	Rosaceae	2			ед. экз.	ед. экз.	хор.
65	<i>Rosa</i> sp. sp.	– « –	2					
66	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae	6	ед. экз.				хор.
67	<i>Salix babylonica</i> L.	Salicaceae	1		ед. экз.			хор.
68	<i>S. cinerea</i> L.	– « –	1	ед. экз.	ед. экз.			хор.
69	<i>Sequoiadendron giganteum</i> (Lindl.) Buchholz	Taxodiaceae	5	ед. экз.				хор.
70	<i>Spartium junceum</i> L.	Fabaceae	2	ед. экз.			дес.	хор.
71	<i>Spiraea x bumalda</i> Burv.	Rosaceae	2		ед. экз.			хор.
72	<i>S. x vanhouttei</i> (Briot) Zab.	– « –	2	дес.	ед. экз.	ед. экз.		хор.
73	<i>Styphnolobium japonicum</i> (L.) Schott	Fabaceae	1	ед. экз.	ед. экз.		дес.	хор.
74	<i>Syringa vulgaris</i> L.	Oleaceae	2	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.	дес.	хор.
75	<i>Tamarix tetrandra</i> Pall. ex M. Bieb.	Tamaricaceae	2	дес.	ед. экз.	ед. экз.	дес.	хор.
76	<i>Taxus baccata</i> L.	Taxaceae	5	ед. экз.				хор.
77	<i>Ulmus pumila</i> L.	Ulmaceae	1		ед. экз.		дес.	хор.
78	<i>Viburnum opulus</i> `Roseum`	Adoxaceae	2		ед. экз.			хор.
79	<i>V. rhytidophyllum</i>	– « –	6		ед. экз.			хор.
80	<i>Vitis vinifera</i> L.	Vitaceae	2	ед. экз.				хор.
81	<i>Wisteria sinensis</i> (Sims.) Sweet.	Fabaceae	4		ед. экз.			хор.
82	<i>Yucca filamentosa</i> L.	Asparagaceae	8	ед. экз.	ед. экз.	ед. экз.		хор.

Прим.: 1 – листопадное дерево; 2 – листопадный кустарник; 3 – полувечнозеленый кустарник; 4 – листопадная лиана; 5 – хвойное дерево; 6 – вечнозеленый лиственный кустарник; 7 – опунция; 8 – юкка

Необходимо отметить, что хотя розоцветные и преобладают в таксономической структуре, но фактически многие из них – самосевные одиночные растения, которые не играют существенной роли в озеленении: *Crataegus pallasii*, *C. meyeri* –

на территории школы, *Crataegus monogyna*, *C. orientalis* – на территории заброшенного парка, *Prunus spinosa*, *Rosa corymbifera* на улицах поселка и т. п. Возле административного здания ОАО «Солнечная Долина» растут два экземпляра секвойдендрона (*Sequoiadendron giganteum*), которые очень редки для культурфитоценозов Юго-Восточного Крыма. Здесь же они весьма декоративны и находятся в хорошем состоянии (рис. 2.).

По видовому и формовому разнообразию более 50 % зеленых насаждений Солнечной Долины составляют листопадные деревья (42,7 %) и кустарники (23,2 %). Хвойные деревья составляют 18,3 %. Доля остальных жизненных форм (лианы, вечнозеленые и полувечнозеленые лиственные кустарники и т. п.) в зеленых насаждениях поселка незначительна. Ботанико-географический анализ показал, что более всего видов (19, или 26,0 %) происходят из Средиземноморской флористической области и 13 (17,8 %) видов широко распространены по территории нескольких флористических областей, в том числе и Средиземноморской. Таким образом, виды средиземноморской флоры здесь преобладают – 32, или 43,8 %. Они наиболее адаптированы к почвенно-климатическим условиям региона.



Рис. 2. *Sequoiadendron giganteum* возле административного здания ОАО «Солнечная Долина».

В Солнечной Долине отсутствуют такие виды, как: *Cercis siliquastrum* L., *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl., *Juniperus excelsa* M. Bieb., *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt, *Morus alba* L., *Prunus laurocerasus* L. и др., которые массово

используются в озеленении других населенных пунктов региона. Единичными экземплярами представлены: *Campsis radicans*, *Cedrus atlantica*, *C. a. 'Glauca'*, *C. deodara*, *Forsythia x intermedia*, *Fraxinus angustifolia*, *Gleditschia triacanthos*, *Prunus duclis*, *Pyracantha coccinea*, *Taxus baccata*, *Wisteria sinensis*, которые также довольно обычны и встречаются практически повсеместно в зеленых насаждениях других городов и поселков Юго-Восточного Крыма. Этот факт, вероятно, связан с теми или иными субъективными причинами (озеленители выбирали растения по собственному предпочтению и т. п.), поскольку вышеперечисленные виды деревьев и кустарников экологически стойкие и достаточно хорошо адаптированы к местным почвенно-климатическим условиям, следовательно, их применение может быть расширено.

Половина (50 %) всех отмеченных нами древесных растений (36 видов и 5 культиваров) представлена единичными экземплярами и только в одном исследуемом объекте. Например, *Punica granatum* (1 экз.), *Betula pendula* (1 экз.), *Viburnum rhytidophyllum* (1 экз.) – на территории школы; *Viburnum opulus 'Roseum'* (1 экз.), *Morus alba 'Pendula'*, (3 экз.), *Wisteria sinensis* (1 экз.) – на территории детского сада и т. п. Более всего (десятки экземпляров в нескольких исследуемых объектах) в поселке встречаются: *Platycladus orientalis*, *P. o. 'Globosa'*, *Cupressus arizonica*, *C. sempervirens*, *C. s. 'Pyramidalis'*, *Styphnolobium japonicum*, *Prunus cerasifera*. Таким образом, видовое и формовое разнообразие массово используемых для озеленения деревьев и кустарников невелико.

Состояние двух видов растений оценено нами как неудовлетворительное: самшита (*Buxus sempervirens*) и инжира (*Ficus carica*). Самшит повсеместно поражен буксусовой огневкой (как и в других регионах Крыма), а инжир представлен несколькими растениями в виде корневой поросли от основного ствола, который, вероятнее всего, вымерзает зимой. Состояние таких растений, как *Acer negundo*, *Cedrus atlantica*, *C. a. 'Glauca'*, *Koelreuteria paniculata*, *Lonicera caprifolium*, *P. pungens*, *P. p. 'Glauca'* оценено как удовлетворительное, поскольку они подсыхают, деревья часто суховершиняют, что указывает на явную недостаточность влаги. Гранат (*Punica granatum*) представляет собой невысокий (около 2–2,5 м) кустарник, видимо, вымерзает в холодные зимы. Его состояние мы также оценили как удовлетворительное. Состояние остальных видов древесных растений оценено как хорошее.

Структура зеленых насаждений Солнечной Долины типична для подобных крымских поселков: уличное озеленение в виде обсадок проезжей части, небольшие зеленые зоны вокруг административных зданий и объектов ограниченного пользования (детсады, школы и т. п.). В отличие от многих других поселков, на территории Солнечной Долины был городской парк (вероятно, заложен в 70-е годы прошлого века), который в настоящее время заброшен, здания и сооружения в нем разрушены. По сведениям местных жителей, парк ранее находился в прекрасном состоянии и служил местом отдыха для жителей и гостей поселка, но в 90-е гг. прошлого века его территория была приватизирована и заброшена. По центральной магистрали Солнечной Долины проложена аллея, разделяющая полосы движения автомобилей, которая начинается при въезде в поселок. На ней совместно высажены: *Cedrus atlantica*, *C. a. 'Glauca'*, *Cupressus arizonica*, *Pinus brutia* var. *pityusa*, *Platanus x acerifolia*. По нашему мнению, здесь было бы уместнее использовать однопородные

деревья, убрав излишнюю «пестроту». На территории усадьбы ОАО «Солнечная Долина» расположен сквер, многие деревья в котором выпали, образовав пустыри. Этот сквер нуждается в восстановлении и реконструкции. Деревья и кустарники для этого следует подбирать с учетом ниже приведенных рекомендаций.

При подборе ассортимента для озеленения поселка, по нашему мнению, необходимо учитывать тот факт, что сам поселок окружен живописными горным ландшафтом, и все объекты зеленого строительства должны быть его логическим продолжением. Физиономически и экологически уместны: можжевельник (*Juniperus excelsa* M. Bieb), фисташка (*Pistacia mutica* Fisch. et C.A. Mey), клен татарский (*Acer tataricum* L.), каркасы (*Celtis australis* L., *C. glabrata* Steven ex Planch.), дубы (*Quercus castanifolia* C.A. Mey, *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), шелковицы (*Morus alba* L., *M. nigra* L.). Деревья здесь, кроме эстетической функции, должны защищать от летнего зноя, следовательно, иметь раскидистую крону: сосна судакская (*Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba), платаны (*Platanus x acerifolia* Willd., *P. orientalis* L.), гледичия (*Gleditschia triacanthos* L.) и др. В весеннюю пору поселок украсят красивоцветущие деревья: айва (*Cydonia oblonga* Mill.), яблони (*M. niedzwetzkyana* Dieck., *M. x purpurea* (Barbier) Rehd.), декоративные сорта и формы алычи, персика и др.; кустарники: церцис (*Cercis siliquastrum* L.), хеномелесы (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl., *Ch. speciosa* (Sweet) Nakai), различные декоративные кизилы и др. Осеннему пейзажу придадут привлекательность: скумпия (*Cotinus coggygria* Scop.), сумахи, ясени – разноцветной листвой, различные кизильники, боярышники, рябины – ярко окрашенными плодами. Для вертикального озеленения уместны: камписис (*Campsis radicans* (L.) Seem.), девичий виноград (*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch.), глициния (*Wisteria sinensis* (Sims) Sweet), некоторые виды клематисов и жимолости, вьющиеся розы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дендрофлора пос. Солнечная Долина включает 73 вида и 9 культиваров, относящихся к 56 родам 34 семейств. Наиболее представлены в видовом отношении семейства Rosaceae, Oleaceae, Fabaceae, которые включают 15, 6 и 5 видов соответственно. Остальные семейства представлены 1–4 видами. Более всего видов (19, или 26,0 %) происходят из Средиземноморской флористической области и 13 (17,8 %) видов широко распространены по территории нескольких флористических областей, в том числе и Средиземноморской. Таким образом, виды средиземноморской флоры здесь преобладают – 32, или 43,8 %. Они наиболее адаптированы к почвенно-климатическим условиям региона.

По видовому и формовому разнообразию более 50 % зеленых насаждений Солнечной Долины составляют листопадные деревья (42,7 %) и кустарники (23,2 %). Хвойные деревья составляют 18,3 %. Доля остальных жизненных форм (лианы, вечнозеленые и полувечнозеленые лиственные кустарники и т. п.) незначительна.

По количественному составу в поселке преобладают: *Platycladus orientalis*, *P. o. `Globosa`*, *Cupressus arizonica*, *C. sempervirens*, *C. s. `Pyramidalis`*, *Styphnolobium*

*japonicum*, *Prunus cerasifera*. Половина всех отмеченных нами древесных растений (36 видов и 5 культиваров) представлена единичными экземплярами, следовательно, не играет заметной роли в зеленых насаждениях. Большинство растений (85,4 %) находится в хорошем состоянии.

При будущем озеленении Солнечной Долины следует учитывать, что сам поселок окружен живописными горным ландшафтом, все объекты зеленого строительства должны быть его логическим продолжением. Ассортимент деревьев и кустарников должен экологически и физиономически соответствовать поставленным задачам.

#### Список литературы

1. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – Русское издание. Санкт-Петербург: Мир и семья, 1995. – 992 с.
2. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова / А. В. Ена. – Симферополь: Н. Оріанда, 2012. – 232 с.
3. Потапенко И. Л. Хвойные деревья и кустарники в озеленении восточного района Южного берега Крыма / И. Л. Потапенко, С. И. Кузнецов, Н. И. Клименко // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского: сборник научных трудов [ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова]. – Симферополь: Н. Оріанда, 2015. – С. 205–232.
4. Потапенко И. Л. Древесные растения для вертикального озеленения в рекреационных комплексах Юго-Восточного Крыма / И. Л. Потапенко // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития: Материалы VII Международной научной конференции (17–19 мая 2017 г., Донецк). – Ростов-на-Дону: Альтаир, 2017. – С. 346–350
5. Потапенко И. Л. Декоративные древесные растения в зеленых насаждениях Юго-Восточного Крыма (на примере г. Судака) / И. Л. Потапенко, Н. И. Клименко, В. Ю. Летухова // Вестник БГАУ. – № 2 (42). – 2017. – С. 113–118.
6. Захаренко Г. С. Деревья и кустарники в озеленении Судака / Г. С. Захаренко, Р. В. Галушко, О. Д. Шкарлет // Бюллетень ГНБС. – 1985. – Вып. 56. – С. 18–21.
7. Савушкина И. Г. Перспективные представители сем. *Carpifoliaceae* A. L. Jussien для озеленения в условиях Предгорного Крыма / И. Г. Савушкина, В. В. Леонов // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: Биология. – Т. 22 (61). – № 3. – 2009. – С. 130–139.
8. Комар-Темная Л. Д. Морфолого-биологические особенности новых интродуцированных сортов декоративного персика / Л. Д. Комар-Темная // Перспективы интродукции декоративных растений в ботанических садах и дендропарках (к 10-летию Ботанического сада Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского / Материалы международной научной конференции (23–26 сентября 2017 г., Симферополь). – Симферополь: Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, 2014. – С. 76–78.
9. Плугатарь Ю. В. Биоэкологическая характеристика паркообразующих кустарниковых пород, перспективных для использования в Степном Крыму / Ю. В. Плугатарь, Н. И. Клименко, О. Е. Клименко, Н. Н. Клименко // Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации / Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Всероссийского научно-исследовательского агролесомелиоративного института (19–23 сентября, 2016, Волгоград). – Волгоград, 2016. – С. 367–371.
10. Савушкина И. Г. Перспективы использования видов рода *Sorbus* L. в озеленении г. Симферополя (Крым) / И. Г. Савушкина, А. А. Леонтьева // Сохранение разнообразия растительного мира в ботанических садах: традиции, современность, перспективы: Материалы Международной конференции, посвященной 70-летию Центрального сибирского ботанического сада (1–8 августа 2016 г., Новосибирск). – Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 2016. – С. 260–262.
11. Багрова Л. А. География Крыма: учеб. пособие для учащихся общеобразоват. учеб. заведений / Л. А. Багрова, В. А. Боков, Н. В. Багров. – Киев: Лыбидь, 2001. – 304 с.

ORNAMENTAL ARBOREAL PLANTS OF SOLNECHNAJA DOLINA  
TOWNSHIP (SOUTH-EAST CRIMEA)

*Potapenko I. L., Letukhova V. Yu.*

*Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS, Feodosia, Crimea, Russia*  
*E-mail: ira\_potapenko@mail.ru*

Green spaces have a diverse positive influence on the climate of the city, town, village. There is no doubt that in the near future the development of industry, agriculture and recreational potential of the Crimean peninsula will entail the development of the infrastructure of settlements, which in turn will require large-scale works on gardening. Accordingly landscapers will require planting material of ornamental trees and shrubs, well adapted to the soil and climatic conditions of the region. Analysis of the current state of trees and shrubs in the studied settlement will help scientists to offer a scientifically grounded assortment of ornamental plants, taking into account the availability of new hybrids, varieties and forms, as well as modern trends in green building. The aim of this work is to assess the condition of green spaces in Solnechnaya Dolina and propose methods for their optimization.

Township Solnechnaya Dolina is located 12 km east of Sudak in the Kozskaya Valley, surrounded by the picturesque mountain peaks Parsuk-Kaya, Eltigen, Tokluk-Syrt, 4 km from the sea and about 1.5 km to the south of Alushta-Theodosia highway. The present state of ornamental trees and shrubs of Solnechnaya Dolina are investigated. We determined the species composition and the form diversity of dendroflora, assessed the status of species and forms of trees and shrubs, the frequency and methods of their use in the surveyed objects.

The composition of species has been defined and their taxonomy structure analyzed as well as their frequency of the appearance in different green areas. Dendroflora of Solnechnaya Dolina includes 73 species and 9 garden forms related to 56 genus of 34 families. The leading role in taxonomic structure belongs to such families: Rosaceae (15 species), Oleaceae (6 species), Fabaceae (5 species). The rest families include 1–4 species. In Solnechnaya Dolina there are no typical for another populated localities of South-East Crimea trees and shrubs as: *Cercis siliquastrum* L., *Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl., *Juniperus excelsa* M. Bieb., *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt, *Morus alba* L., *Prunus laurocerasus* L. Studying the frequency of the appearance species and forms showed, that 50% of arboreal plants noted by single specimens: *Campsis radicans*, *Cedrus atlantica*, *C. a.* `Glauca`, *C. deodara*, *Forsythia* x *intermedia*, *Fraxinus angustifolia*, *Gleditschia triacanthos*, *Prunus duclis*, *Pyracantha coccinea*, *Taxus baccata*, *Wisteria sinensis* and some others. But they are common for greenery of other South-East Crimea urban territories. This fact is probably connected with some subjective reasons. The above listed species of trees and shrubs are ecologically resistant and sufficiently well adapted to local soil and climatic conditions, thus their application can be extended.

The life forms of studying plants are the following: leaf trees – 35 (42,7 %), leaf shrubs – 19 (23,2 %), conifer trees – 15 (18,3 %) species and garden forms. Evergreen shrubs are not numerous (5 species) as well as lianas (4 species).

Dominant species in all green areas of Solnechnaya Dolina are: *Platycladus orientalis*, *P. o.* `Globosa`, *Cupressus arizonica*, *C. sempervirens*, *C. s.* `Pyramidalis`,

*Styphnolobium japonicum*, *Prunus cerasifera*. Most (85,4 %) of trees and shrubs are in good state. The rest suffered from low temperatures in winters (*Ficus carica*, *Punica granatum*) and lack of moisture (*Acer negundo*, *Cedrus atlantica*, *C. a.* `Glauca`, *Koelreuteria paniculata*, *Lonicera caprifolium*, *P. pungens*, *P. p.* `Glauca`). Boxwood (*Buxus sempervirens*) is everywhere infected by pests and diseases.

The township Solnechnaya Dolina is surrounded by a picturesque mountain landscape, so all the objects of green construction should be its logical continuation. The assortment of trees and shrubs must be environmentally and physiognomically comply with that task. Suitable are the trees of native (Crimean) flora: *Juniperus excelsa* M. Bieb., *Fraxinus angustifolia* Vahl. subs. *angustifolia*, *Pinus brutia* var. *pityusa* (Steven) Silba, *Pistacia mutica* Fisch. et C.A. Mey., *Cotinus coggygria* Scop., as well as *Platanus x acerifolia* Willd., *P. orientalis* L., *Celtis australis* L., *C. glabrata* Steven ex Planch., *Gleditschia triacanthos* L. and others.

**Keywords:** dendroflora, ornamental trees and shrubs, greenery, Solnechnaya Dolina, South-East Crimea.

### References

1. Cherepanov S. K. *Vascular plants of Russia and adjacent states (within the former USSR)*. Russian edition, 992 (Mir i sem'ja, SPb, 1995).
2. Ena A. V. *The natural flora of the Crimean peninsula*, 232 (N. Orianda, Simferopol, 2012).
3. Potapenko I. L., Kuznetsov S. I., Klimenko N. I. Conifera trees and shrubs in planting of greenery the East Region, *Proceed. 100 years of the T. I. Vyzemsky's Karadag Scientific Station*, edited by A. V. Gayevskaya, A. L. Morozova, 205 (N. Orianda, Simferopol, 2015).
4. Potapenko I. L. Arboreal plants for vertical planting in recreational complexes of South-East Crimea, *Proceed. of the International scientific conference "Industrial botany: state and development prospects"*, 346 (Altair, Rostov-na-Donu, 2017).
5. Potapenko I. L., Klimenko N. I., Letukhova V. Yu. Ornamental wood plants in green plantings of Southeast Crimea (for example Sudak), *Vesnik BSAU*, **2**, 113 (2017).
6. Zakharenko G. S., Galushko R. V., Shkarlet O. D. Trees and shrubs in planting of Sudak, *Bulletin SNBG*, **56**, 18, (1985).
7. Savushkina I. G., Leonov V. V. Prospective members of the family Caprifoliaceae A. L. Jussein for planting in the Foothill Crimea, *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University. Series Biology, Chemistry*, **22 (61)**, **3**, 130 (2009).
8. Komar-Tyomnaya L. D. Morphological and biological features of the new introduced varieties of ornamental peach, *Materials of the scientific conference "Prospects of ornamental plant introduction in botanical gardens and arboreturns (in commemoration of the 10<sup>th</sup> anniversary of the Botanical Garden of Crimean Federal V. Vernadsky University)"*, 76 (Crimean Federal V. I. Vernadsky University, Simferopol, 2014).
9. Plugatar Yu. V., Klimenko N. I., Klimenko O. E., Klimenko N. N. Bioecological characteristic park formation shrubs, promising to be used in the steppe Crimea, *Proceed. of the International scientific-practical conference dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of the All-Russian Scientific Research Institute of agroforestry "Protective afforestation, land reclamation, agriculture and agroecology problems in the Russian Federation"*, 367 (Volgograd, 2016).
10. Savushkina I. G., Leontieva A. A. Prospects for using the species of the genus *Sorbus* L. in gardening of Simferopol (Crimea), *Materials of the International conference "Conservation of plant diversity in botanical gardens: traditions, current situation and future" commemorating the 70-th anniversary of Central Siberian Botanical Garden*, 260 (Novosibirsk, 2016).
11. Bagrova L. A., Bokov V. A., Bagrov N. V. *Geography of the Crimea: a textbook for students of general educational institutions*, 304 (Lybid, Kiev, 2001).

**УДК 582.28 (476)**

**ВЛИЯНИЕ ГОЛОВНЕВОГО ГРИБА *SPORISORIUM ANDROPOGONIS*  
(OPIZ) VÁNKY. НА СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ *BOTHRIOCHLOA*  
*ISCHAEMUM* (L.) KENG. (POACEAE) В ГОРНОМ КРЫМУ**

***Просяникова И. Б., Гусева А. А., Гришкова В. И.***

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

Приведены данные по влиянию головневого гриба *Sporisorium andropogonis* (Opiz) Vánky. на состояние ценопопуляции *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng. Изучено влияние гриба на распространенность и интенсивность поражения *B. ischaemum*. Выявлена зависимость феноспектра растения-хозяина от стадии развития *S. andropogonis*. Изучено влияние *S. andropogonis* на содержание фенольных соединений в растениях *B. ischaemum*.

**Ключевые слова:** головневый гриб *Sporisorium andropogonis*, питающее растение *Bothriochloa ischaemum*, распространенность и интенсивность поражения, феноспектры, фенольные соединения.

**ВВЕДЕНИЕ**

Умеренно-холодный и влажный климат Крымских гор с элементами средиземноморского климата способствует развитию флоры разнообразного видового состава и столь же разнообразной фитотрофной микобиоты. Головневые грибы (порядок Ustilaginales, класс Ustomycetes, отдел Basidiomycota) насчитывают около 1200 видов из более чем 50 родов, большей частью приуроченных к одному роду или виду растения и отличающихся узкой специализацией. В целом, они поражают свыше 4000 видов цветковых растений [1, 2]. Сведения о видовом составе головневых грибов Крыма постоянно пополняются новыми данными. Изучение взаимодействия фитопатогена и растения-хозяина, а также исследование закономерностей их жизненного цикла, сроков и способов инфицирования растений, жизнеспособности спор, споропродукции является актуальной научной проблемой.

Целью данной работы является изучение влияния головневого гриба *Sporisorium andropogonis* (Opiz) Vánky. на состояние ценопопуляции *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng. (Poaceae) в Горном Крыму.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Исследования проводили в окрестностях пгт Научный Бахчисарайского района Республики Крым на одном из отрогов горы Сель-Бухра (658,2 м н. у. м.) в течение вегетационного сезона 2016 года на одной однородной пробной площади (100 м<sup>2</sup>), крутизна исследуемого склона составляет 25–30° (рис. 1). Нами были случайным

образом выделены по 20 учетных площадок площадью 1 м<sup>2</sup>. Природная растительность известняковой горы Сель-Бухра представлена дубовопушистым-можжевельным редколесьем [3], где *V. ischaetum* образует довольно крупные многочисленные куртины (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид пробной площадки на отроге горы Сель-Бухра (658,2 м н. у. м.)

Согласно картосхеме географического районирования Крыма, пгт Научный расположен в Горном Крыму [4]. Общий ареал *V. ischaetum* – европейско-средиземноморский, вид распространен преимущественно в Горном Крыму. Биоморфа: ксеромезофит; сциогелиофит; гликофит; медоносное, витаминоносное, техническое, довольно часто встречаемое в Горном Крыму растение. Экоморфа: ксеромезофит, гелиофит, гликофит, кормовое растение, обильно встречающееся [5].

Идентификацию образцов *S. andropogonis* на листьях *V. ischaetum* проводили стандартным методом с помощью определителя [1], а название растения-хозяина представлено по литературе [6]. Объект изучения – растения *V. ischaetum*, пораженные головневым грибом *S. andropogonis*. Варианты опыта: контроль – здоровое растение, опыт – пораженное грибом *S. andropogonis*. Распространение и развитие болезни рассчитывали с использованием общепринятых в фитопатологии методов [7].

**Определение фенольных соединений.** Растительный материал высушивали в хорошо проветриваемом помещении при комнатной температуре до состояния ломкости. Растения были разделены на корни, листья и стебли, каждый образец был тщательно размельчен, а затем перетерт с песком до порошкообразного состояния

для максимального извлечения экстрагируемых веществ. Экстракцию проводили 70 % водным раствором изопропилового спирта в соотношении 1:10 при температуре 100 °С. Далее экстракт был охлажден и настоян в течение суток.

**Хроматографические методики. Одномерная хроматография.** ТСХ-анализ выполняли на пластинках «Silufol» (Чехословакия). Экстракты органов растения двух образцов нанесли на хроматографическую пластину. Одномерный ТСХ-анализ проводили параллельно в двух системах: «хлороформ – метанол – вода» (7:3:0,5) и «хлороформ – метанол – аммиак» (7:3:1).

**Двумерная хроматография.** Двумерный ТСХ-анализ экстрактов проводился на пластинках «Silufol», разделение веществ в направлении «1» осуществлялось в нейтральной хроматографической системе растворителей, а разделение в перпендикулярном направлении «2» – в щелочной системе растворителей. В качестве нейтральной системы использовали смесь «хлороформ – метанол – вода» (7:3:0,5); в качестве щелочной – «хлороформ – метанол – 25%-ный водный аммиак» (6:4:1). Детектировали флюоресценцию и разделение фенольных соединений излучением УФ-лампы со светофильтром, выделяющим длинноволновое УФ-излучение (365 нм) [8, 9]. Полученные данные обрабатывались общепринятыми методами математической статистики при уровне достоверности  $P=0,05$  [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Головневый гриб *Sporisorium andropogonis*, зарегистрированный нами на *Bothriochloa ischaetum*, относится к семейству Ustilaginaceae. Паразит образует сорусы 15–70 мм длиной, 1–10 мм шириной, которые на первых этапах своего развития частично скрыты оболочкой, имеют цилиндрическую форму или раздваиваются в дистальной части соцветий. Как правило, сорусы гриба разрушают целые соцветия растения-хозяина, резко снижая семенную продуктивность растений, редко ограничиваются отдельными колосками (рис. 2 А). Сначала сорус покрыт хорошо развитым образованием желтовато-коричневого цвета, которое разрывается, обнажая темно-коричневую порошкообразную массу спор и группы стерильных клеток.

Известно, что данная инфекция носит системный характер [11]. Размеры устоспор колеблются в диапазоне 40–160 мкм длиной, при созревании одиночные, шаровидные, яйцевидные, эллипсоидальные, слегка неправильной формы (7,6–11,0 × (6,5–) 8–10 мкм), светло-оливково-коричневые; имеют равномерно утолщенные стенки толщиной 0,5–1,0 мкм, оболочка гладкая, волнистая (рис. 2 Б).

Как видно из данных таблицы 1, показатель распространения болезни (Р) в 2016 году в популяции *B. ischaetum* на всех пробных площадях колебался в диапазоне от 3,2 до 19,1 %. Максимум поражения растений-хозяев грибом *S. andropogonis* приходится на июль (19,1 %). Колебания интенсивности поражения растений (R) в ходе вегетационного сезона имели общую тенденцию с показателем распространенности и находились в пределах от 1,2 до 42,2 %, причем наибольшая инфекционная нагрузка на *B. ischaetum*, связанная с поражением соцветий, также была установлена в июле.

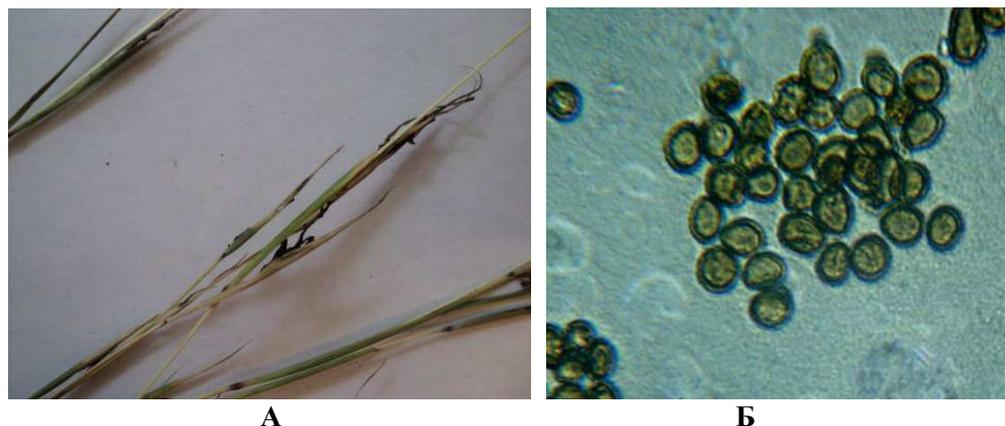


Рис. 2. Головневый гриб *Sporisorium andropogonis* (Opiz) Vánky на *Bothriochloa ischaetum* (L.) Keng (Poaceae): А – внешний вид пораженного соцветия; Б – устоспоры (увел. 400х, ориг.).

Как видно из данных таблицы 1, в августе распространенность заболевания уменьшается на 10,4 %, что связано со снижением плотности цветущих растений на единицу площади (6,4 шт/ м<sup>2</sup> в августе по сравнению с июлем – 9,4 шт/м<sup>2</sup>), что приводит к разреживанию больных растений и постепенному снижению инфекционной нагрузки на пробной площади.

**Таблица 1**  
**Характеристика распространенности и степени поражения *Bothriochloa ischaetum* (L.) Keng. (Poaceae) головневым грибом *Sporisorium andropogonis* (Opiz) Vánky. (2016 г.)**

Месяц	Среднее количество растений, экз./м <sup>2</sup>	Распространенность заболевания (P), %	Интенсивность поражения (R), %
Июнь	8,3 ± 0,2	12,0 ± 0,9	26,3 ± 0,6
Июль	9,4 ± 0,1	19,1 ± 0,6	42,2 ± 1,9
Август	6,4 ± 0,1	8,8 ± 0,2	13,2 ± 0,5
Сентябрь	9,5 ± 0,3	3,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1

Такое уменьшение количества цветущих особей *Bothriochloa ischaetum* мы связываем с высокими температурными показателями солнечной радиации и малым количеством осадков в июле – августе 2016 года на склоне горы Сель-Бухра (табл. 2).

Таблица 2  
Температурный режим и количество осадков в пгт Научный Бахчисарайского района в течение вегетационного периода 2016 г.

Месяц	Средняя max температура, °С	Средняя min температура, °С	Суммарное количество осадков, мм
Май	21	10	87,7
Июнь	27	15,5	67
Июль	30	18	36,3
Август	32	19	4,6
Сентябрь	26	14	10,2

Сопоставление фенологического спектра *B. ischaetum* с фазами спороношения гриба *S. andropogonis* показало, что головневые споры закладываются и распространяются в фазу массового цветения растения-хозяина (рис. 3 А), заражая растения начиная с третьей декады июня и заканчивая в конце августа – первой декады сентября (рис. 3 Б).

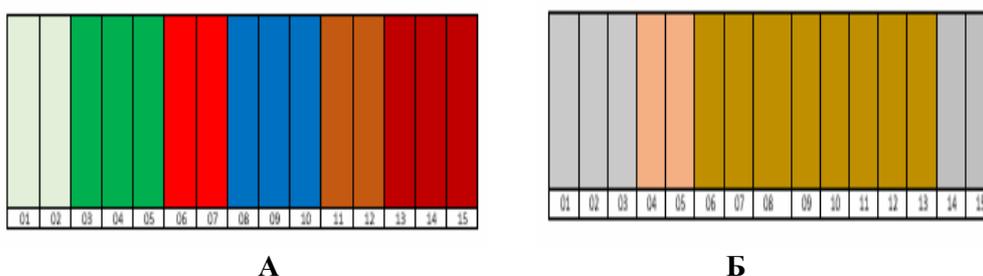


Рис. 3. Фенологический спектр *Bothriochloa ischaetum* (L.) Keng. (Poaceae) (А) и *Sporisorium andropogonis* (Opiz) Vánky. (Б):

- Период покоя
- Первичная вегетация
- Бутонизация
- Цветение
- Конец цветения
- Вторичная вегетация и цветение
- Период покоя
- Формирование устоспор
- Поражение растений-хозяев

Таким образом, сопоставляя данные таблиц 1–2 и рисунка 3, можно сделать вывод, что распространенность заболевания и интенсивность поражения в июле 2016 года по сравнению с предыдущим месяцем возрастает на 7,1 %, что связано с тем, что *B. ischaetum* в июле массово вступает в фазу бутонизации и цветения и, соответственно, при этом усиливается поражение генеративных органов растения-хозяина головневым грибом *S. andropogonis*.

В последнее время большое внимание исследователи уделяют изучению связи между химическим строением и фунгитоксичной активностью фенольных соединений. Это необходимо для более глубокого понимания роли фенолов как факторов устойчивости растений к грибным заболеваниям, а также для использования активных форм этих соединений для защиты растений, человека и животных [12].

В ходе исследований нами были получены следующие хроматограммы корней, листьев со стеблями и соцветий *B. ischaetum*, отражающие состав фенольных соединений контрольных и опытных вариантов (рис. 4). Анализ хроматограмм методом детектирования в УФ-свете выявил следующее: при поражении грибом наблюдается как появление новых компонентов с сине-фиолетовой флюоресценцией (предположительно замещенные фенолкарбоновые и коричные кислоты) и с желтой флюоресценцией (флавоноиды и их гликозиды), так и исчезновение соединений, присутствующих в здоровых органах. Иными словами, наблюдалось определенное замещение относительной интенсивности флюоресценции компонентов, присутствующих как в здоровых, так и в пораженных органах.

Как видно из данных рисунка 4, поражение грибом *S. andropogonis* приводит к определенным биохимическим сдвигам в составе тканей органов, однако сделать определенные выводы довольно сложно в силу двух обстоятельств: определенные компоненты могут быть свойственны именно самому грибу-паразиту, а не растению; можно лишь примерно предсказать природу флюоресцирующих веществ, накапливающихся в заболевших растениях. В данном случае представляются необходимыми дополнительные исследования.

Анализ хроматограмм при детектировании фосфорновольфрамовой кислотой на гликозиды и прочие вторичные метаболиты (терпеноиды) показал довольно бедный состав исследованных органов в отношении этих соединений (наличие не более 2–3 компонентов). Однако тут прослеживаются более четкие закономерности, нежели в случае флюоресцирующих соединений. Так, в корнях существенно увеличивается доля менее полярного компонента в случае поражения грибом (рис. 4 А).

В пораженных листьях и стеблях (рис. 4 Б) также в небольшом количестве появляются дополнительные малополярные компоненты. В пораженных соцветиях (рис. 4 В) вообще основной компонент исчезает, но появляются два малополярных компонента иной биохимической природы (пятна светло-розового цвета).

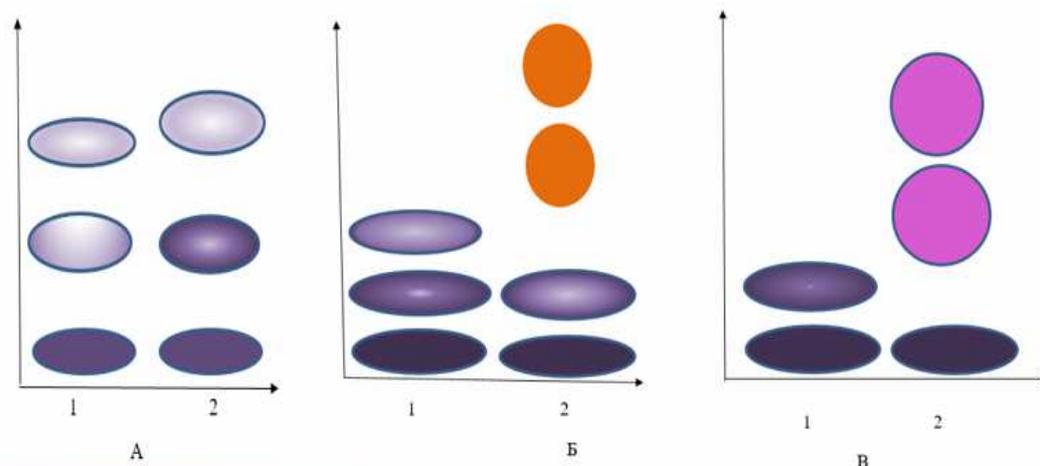


Рис. 4. Хроматограммы органов *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng при детектировании фосфорновольфрамовой кислотой на фенольные соединения: 1 – контроль (здоровые растения), 2 – опыт (зараженные растения); А – корни, Б – стебли и листья, В – соцветия.

В целом, можно заключить, что поражение растения *B. ischaemum* грибом *S. andropogonis* вызывает вполне определенные биохимические изменения в составе каждого органа растения, однако для получения детальной информации необходимы дальнейшие исследования природы обнаруженных компонентов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ распространенности и интенсивности поражения ценопопуляции *Bothriochloa ischaemum* головневым грибом *Sporisorium andropogonis* на вершине горы Сель-Бухра (Горный Крым) и установлено, что ассоциированная пара «гриб – растение» образуется ежегодно.
2. Сопоставление фенологического спектра растения-хозяина *B. ischaemum* с фазами спороношения гриба *S. andropogonis* показало, что головневые споры формируются в период цветения и созревания плодов растения-хозяина, при этом максимум пораженности *B. ischaemum* приходится на июль.
3. Поражение грибом *S. andropogonis* носит системный характер. Диффузный мицелий гриба, перезимовывая в питающем растении, при закладке генеративных органов формирует генерацию устоспор для завершения инфекционного цикла *S. andropogonis* и его дальнейшего распространения в популяции *B. ischaemum*.
4. Анализ фенольных соединений *B. ischaemum* с помощью тонкослойной хроматографии показал, что под влиянием головневого гриба *S. andropogonis* наблюдается появление новых компонентов с сине-фиолетовой флюоресценцией (предположительно замещенные фенолкарбоновые и коричневые кислоты) и с желтой флюоресценцией (флавоноиды и их гликозиды).

Список литературы

1. Низшие растения, грибы и мохообразные Дальнего Востока России. Грибы. Том 3. Устомицеты (головневые), базидиомицеты (гигрофоровые), аскомицеты (лабульбениевые и пейритшиелловые), зигомицеты (энтомофторовые), хитридиомицеты (бластокладиевые-целомомицетовые): справочное издание / З. М. Азбукина, О. К. Говорова, И. В. Каратыгин, А. Е. Коваленко, Э. З. Коваль; Отв. ред. З. М. Азбукина. – СПб.: Наука, 1995. – 383 с.
2. Каратыгин И. В. Семейство Устилаговые. / Каратыгин И. В., Азбукина З. М. // Л.: Наука, 1989. – 220 с. (Определитель грибов СССР. Порядок Головневые; Вып. 1.).
3. Григора І. М. Рослинність України (еколого-ценотичний, флористичний та географічний нарис) / Григора І. М., Соломаха В. А. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 452 с.
4. Сидух Я. П. Растительный покров Горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана) / Сидух Я. П. – Киев: Наукова думка, 1992. – 256 с.
5. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / Голубев В. Н.–Ялта: ГНБС, 1996 – 300 с.
6. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова: монография. / Ена А. В. // Симферополь: Н. Орианда, 2012. – 232 с.
7. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты: учебный определитель / Благовещенская Е. Ю. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 240 с.
8. Набиванец Б. И. Хроматографический анализ / Б. И. Набиванец, Е. А. Мазуренко [Пособие для вузов]. – Киев. Вища школа, 1979 – 264 с.
9. Кирхнер Ю. Тонкослойная хроматография / Ю. Кирхнер; [Пер. с англ. Д. Н. Соколова и М. И. Яновского, под ред. В. Г. Березкина.]. – М.: Мир, 1981. – 616 с.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия / Лакин Г. Ф. – М.: Высшая школа, 1983 – 293 с.
11. Riethmuller A. Phylogenetic relationships of the downy mildews (Peronosporales) and related groups based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences / Riethmuller A., Voglmayr H., Goker M. [et al.] // Mycologia. – 2002. – Vol. 94. – P. 834–849.
12. Movlyanov S. M. Phenolic compounds of *Geranium sanguineum* / S. M. Movlyanov, Sh. Yu. Islambekov, F. G. Kamaev, A. I. Ismailov // Chemistry of Natural Compounds. – 1994. – Vol. 30, № 1. – P. 33.

**INFLUENCE OF THE BUNT FUNGUS *SPORISORIUM ANDROPOGONIS* (OPIZ) VÁNKY. ON THE STATE OF COENOPOPULATION OF *BOTHRIOCHLOA ISCHAEMUM* (L.) KENG. (POACEAE) IN THE MOUNTAIN CRIMEA**

*Prosyannikova I. B., Guseva A. A., Grishkovets V. I.*

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

The investigation was carried out in the vicinity of Nautsniy in Bakhchisaray region of Crimea on the top of one of the spurs on Sel-Buhra mountain top (658.2 m above the sea level, the Crimean Mountains) on one homogeneous test area, 100 m<sup>2</sup>. The natural vegetation of the limestone Mountains of Sel-Buhra is represented with pubescent oak and juniper sparse wood, where *B. ischaemum* forms rather large and multiple curtains. The spread and the intensity of lesions of *B. ischaemum* coenopopulation by the bunt fungus *S. andropogonis* was studied, as well as the associated pair of fungus-plant, which is annually produced, was found.

The comparative analysis of phenological spectrum of *B. ischaemum* with phases of sporophores *S. andropogonis*, showed that spores are formed during the period of

flowering and ripening of the fruit of the host plant, with the maximum *B. ischaemum* lesion occurring in July. For more than three years of research (2016), it was revealed that the largest lesion of *B. ischaemum* takes place in May, which coincides with the period of mass flowering of the host plant. The defeat of the fungus *Sporisorium andropogonis* is systemic in nature. Diffusive mycelium of the fungus, overwintering in the feeding plant, generates generics for the end of the infection cycle of *S. andropogonis* and its further distribution in the population of *B. ischaemum*.

Analysis of chromatograms when detecting phosphotungstic acid on glycosides and other secondary metabolites (terpenoids) showed a rather poor composition of the organs studied with respect to these compounds (the presence of not more than 2–3 components). The analysis of phenolic compounds of *B. ischaemum* by TLC revealed that a component with a blue-violet fluorescence (presumably substituted phenolcarbon and cinnamic acids) and yellow fluorescence (flavonoids and their glycosides) is formed under the influence of *S. andropogonis* bunt fungus.

**Keywords:** *Sporisorium andropogonis* bunt fungus, *Bothriochloa ischaemum* host plant, the spread and intensity of lesions, phenological spectrum, phenolic compounds.

### References

1. Azbukina Z. M., Govorova O. K., Karatygin I. V., et al; Otv. Ed. Azbukina Z. M. *Lower plants, mushrooms and bryophytes of the Far East of Russia. Fungi. T. 3: Ustomycetes (Ustilaginales), Basidiomycetes (Hygrophorales), Ascomycetes (Laboulbeniales), Zygomycetes (Entomophthorales), Chytridiomycetes (Blastocladales-Coelomomycetales)*. Reference book. 383 (St. Petersburg: Nauka, 1995). (in Russ.).
2. Karatygin I. V., Azbukina Z. M. *Ustilagaceae of family*. 220 (Publishing House of Science, 1989). (The determinant of the USSR Order of fungi Smut, Issue 1.). (in Russ.).
3. Grigora I. M., Solomaha V. A. *Vegetation Ukraine* (Eco-tsenotichny, floristichny that geografichny Naris), 452 (Phytosotsiotsentr, Kiev, 2005). (in Ukrainian).
4. Didukh Y. P. *Vegetation cover of the Crimean Mountains* (structure, dynamics, and evolution of security.), 256 (Naukova Dumka, Kiev, 1992). (in Russ.).
5. Golubev V. N. *Biological flora of Crimea*, 300 (GNBS, Yalta, 1996). (in Russ.).
6. Yena A. V. *Natural flora of the Crimean Peninsula*, 232 (N. Oreanda, Simferopol, 2012). (in Russ.).
7. Blagoveshchenskaya E. U. *Phytopathogenic micromycetes: educational determinant*, 240 (M.: publishing house LENAND). (in Russ.).
8. Nabivanets B. I., Mazurenko E. A. *Chromatographic analysis*. Handbook for universities, 264 (Visha School, Kiev, 1979). (in Russ.).
9. Kirchner Y., Sokolov D., Janowski M., ed. V. G. Berezkina. *TLC*, 616 (Mir, Moscow, 1981). (in Russ.).
10. Lakin G. F. *Biometrics*, 293 (Higher School, Moscow, 1983) (in Russ.).
11. Riethmuller A., Voglmayr H., Goker M. et al. Phylogenetic relationships of the downy mildews (Peronosporales) and related groups based on nuclear large subunit ribosomal DNA sequences, *Mycologia*, **94**, 834 (2002).
12. Movlyanov S. M., Islambekov Sh. Yu., Kamaev F. G., Ismailov A. I. Phenolic compounds of *Geranium sanguineum*. *Chemistry of Natural Compounds*, **30** (1), 33 (1994).

**УДК 57.01**

## **РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ МИКРОГЕМОДИНАМИКИ**

*Раваева М. Ю., Чуян Е. Н., Павлова Л. В.*

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

Методом лазерной доплеровской флоуметрии установлено, что при ежедневном 10-кратном введении мелатонина (1 мг/кг) наблюдаются изменения осцилляторных показателей тканевой микрогемодинамики, что свидетельствует об увеличении перфузии периферических тканей и модуляции кровотока в микрососудах за счет повышения эндотелий-независимой вазодилатации, снижения периферического сопротивления, увеличения притока крови в нутритивное микрососудистое русло и улучшения веноулярного оттока. Обсуждаются возможные механизмы действия мелатонина на тканевую микрогемодинамику.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, тканевая микрогемодинамика, мелатонин.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы все большее внимание исследователей привлекают сведения о важной регуляторной роли эпифиза и его основного гормона мелатонина (МТ) в различных физиологических функциях организма. Установлено, что МТ вырабатывается не только в эпифизе, его синтез обнаружен почти во всех органах: в сетчатке глаза, желудочно-кишечном тракте, тимусе, иммунных клетках, сердце, половых железах, антральных фолликулах [1]. Ключевая роль МТ определяется тем обстоятельством, что ритмам его продукции подчинены все эндогенные ритмы организма. В частности, наличие циркадианной ритмики артериального [2] и центрального венозного давления у людей [3] свидетельствует об участии МТ и в регуляции функций сердечно-сосудистой системы. В пользу этого говорит также присутствие рецепторов к МТ в мышечном слое и эндотелии кровеносных сосудов [4, 5]. Однако на сегодняшний день остается малоизученным роль МТ в регуляции осцилляций микроциркуляции. В этой связи целью настоящего исследования явилась оценка характера влияния МТ в физиологических концентрациях (1 мг/кг) на осцилляторные процессы микроциркуляции у крыс без признаков сердечно-сосудистой патологии, находящихся в стандартных условиях вивария.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Экспериментальная часть работы выполнена на 20 белых крысах-самцах линии Вистар массой 180–250 г. Все исследования проводились согласно международным принципам Европейской конвенции «О защите позвоночных животных, которые

используются для экспериментов и других научных целей», нормам биомедицинской этики.

После предварительного отбора животных разделили на 2 группы по 10 крыс в каждой. Животные обеих групп находились в обычных условиях вивария. Крысы первой группы являлись биологическим контролем (контроль), им ежедневно в утренние часы в течение 10-ти суток внутрибрюшинно вводили физиологический раствор объемом 0,2 мл. Крысам второй (экспериментальной) группы вводили 1 мг/кг МТ (Sigma, China), который разводили физиологическим раствором объемом 0,2 мл.

Исследование изменений параметров микроциркуляции крови проводилось методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) при помощи лазерного анализатора кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (производство НПП «Лазма», Россия) с использованием программы LDF 2.20.0.507WL. Исследование базального кровотока проводилось в течение 6-ти минут на 1, 5 и 10 сутки эксперимента, что соответствовало 1-, 5- и 10-кратному введению МТ.

В качестве параметров, анализируемых методом ЛДФ, после вейвлет-анализа ЛДФ-сигнала определяли амплитуды колебаний кровотока разных частотных диапазонов. Колебания в частотах 0,07–0,15 Гц, или миогенные колебания, обусловлены периодической активностью гладкомышечных волокон артериол, приводящих к изменению диаметра их просвета (вазомоции) [6]. На такую периодичность констрикции и дилатации микрососудов накладываются нейрогенные колебания (0,02–0,046 Гц), отражающие симпатическую регуляторную активность [6–8]. К высокочастотным колебаниям относятся дыхательные (0,15–0,4 Гц) и пульсовые (0,8–0,16 Гц). Дыхательные волны представлены периодическими изменениями давления в венозном отделе сосудистого русла, вызываемыми дыхательными экскурсиями грудной клетки [7]. Пульсовые колебания кровотока обусловлены перепадами внутрисосудистого давления, которые в большей или меньшей степени синхронизированы с кардиоритмом [7, 8].

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета «STATISTICA – 8.0». Поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального, оценка достоверности межгрупповых различий проводилась с помощью U-теста Манна – Уитни.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В результате исследования установлено, что после введения МТ у животных экспериментальной группы наблюдались значительные изменения осцилляторных показателей тканевой микрогемодинамики, причем достоверные изменения микрогемодинамики регистрировались уже после однократного введения МТ. Введение МТ приводило к достоверному увеличению амплитуды миогенных ритмов (Ам) уже после первого введения на 18 % ( $p \leq 0,05$ ), а после 10-кратного введения – на 30 % ( $p \leq 0,05$ ) относительно таковых в контрольной группе, что отражает снижение тонуса прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол [9]. Поскольку известно, что ритмы данного диапазона обусловлены колебаниями концентрации  $Ca^{2+}$  через мембраны мышечных клеток [6, 9], то

повышение Ам свидетельствует о снижении тонуса прекапилляров вследствие развития  $Ca^{2+}$ -зависимой мышечной релаксации.

Повышение амплитуд колебаний ЛДФ-граммы в нейрогенном диапазоне (Ан) происходило как после однократного (на 21 %,  $p \leq 0,05$ ), так и после 5- и 10-кратного (на 35 % ( $p \leq 0,05$ ) и 48 % ( $p \leq 0,05$ ) соответственно) введения МТ. Ан связаны с симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы артериол и артериолярных участков артерио-венулярных анастомозов [10], а их увеличение отражает снижение периферического сопротивления в данных областях микроуacula, следствием чего является улучшение нутритивного кровотока.

Наряду с описанными выше показателями произошло увеличение амплитуд пульсовых колебаний (Ап) после однократного введения МТ на 22 %, ( $p \leq 0,05$ ), а после 10-кратного – на 43 % ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений этих показателей, зарегистрированных у интактных животных. Известно, что Ап отражает перфузионное давление в микрососудах, обусловленное как сердечным выбросом, перепадами систолического и диастолического давления, так и влиянием посткапиллярного сопротивления [9].

Необходимо отметить, что наименее чувствительными к действию МТ оказались амплитуды дыхательных колебаний (Ад), которые связаны с дыхательной модуляцией венулярного кровотока и с респираторными влияниями на вегетативное обеспечение деятельности сердца [9]. Этот показатель достоверно увеличился (на 21 %,  $p \leq 0,05$ ) только после 5-го введения нейрогормона и оставался на этом же уровне после 10-кратного введения.

Таким образом, введение экзогенного МТ приводило к улучшению тканевой микрогемодинамики за счет увеличения эндотелий-независимой вазодилатации, снижению активности симпатических адренергических вазомоторов и снижению периферического сопротивления, увеличению притока крови в нутритивное микрососудистое русло, улучшению венулярного оттока.

Наши данные согласуются с литературными и существенно дополняют их сведениями о том, что вазодилатационный эффект МТ реализуется в его способности воздействовать (и/или модулировать) на все звенья многоуровневого контроля микрогемодинамики, в котором эндотелиальная активность, нейрогенный, миогенный, пульсовой и дыхательный компоненты осцилляции задействованы в реализации вазодилатирующего эффекта МТ.

Нами показано снижение периферического сопротивления за счет снижения симпатических адренергических влияний на гладкие мышцы артериол и артериолярных участков артерио-венулярных анастомозов (повышение Ан) при действии МТ. Подобное ограничение симпатических влияний на функцию сердечно-сосудистой системы можно отнести за счет центральных свойств МТ [11], к которым причисляют и воздействие на адренергические и пептидергические окончания периваскулярных нервов [12], воздействие на адренергические рецепторы или вторичные мессенджеры в цепи адренергической стимуляции мышечного сокращения [12], блокирование серотонинергической стимуляции гладкомышечного сокращения [13], ингибирование секреции серотонина структурами ЦНС [14] и тромбоцитами [15], вазопрессина гипоталамусом [16] и норадреналина надпочечниками [17], а также

ингибирование высших вегетативных центров межоточного мозга (микроинъекции гормона в область переднего гипоталамуса приводили к снижению давления как у нормальных, так и стрессированных крыс [18].

Известно, что механизмы, посредством которых МТ оказывает влияние на сосудистый тонус, включают в себя непосредственное действие на гладкомышечные клетки сосудов путем связывания МТ с собственными рецепторами гладкомышечных клеток и эндотелия сосудов [12]. Действительно, наши исследования показали достоверное уменьшение тонуса гладкомышечных прекапилляров (увеличение  $A_m$ ), что обусловлено развитием  $Ca^{2+}$ -зависимой мышечной релаксации. Можно предположить, что введение МТ блокирует поступление ионов  $Ca^{2+}$ , как это показано в экспериментальных исследованиях на крысах [19], где МТ конкурентно ингибировал  $Ca^{2+}$ -каналы клеточных мембран кардиомиоцитов, ослабляя эффекты нифедипина

Изменения  $A_d$  и  $A_p$ , зарегистрированные в настоящем исследовании, указывают, что в основе вазодилатации лежат также и экстравазальные факторы, такие как увеличение притока артериальной крови в микроуруло и облегчение венозного оттока вследствие изменения деятельности всей кардиореспираторной системы организма. Действительно, показано, что введение МТ оказывает брадикардическое действие, отрицательный хронотропный эффект и существенно уменьшает энергетические затраты миокарда [20].

Результаты настоящего эксперимента дополняют наши предыдущие исследования [21], вносят существенный вклад в понимание механизмов терапевтической эффективности МТ и демонстрируют перспективность дальнейших исследований действия МТ на микрогемодинамику в различных экспериментальных моделях.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Методом лазерной доплеровской флоуметрии установлено, что при введении мелатонина наблюдаются изменения осцилляторных показателей тканевой микрогемодинамики, что свидетельствует об увеличении перфузии периферических тканей и модуляции кровотока в микрососудах за счет повышения эндотелий-независимой вазодилатации, снижения периферического сопротивления, увеличения притока крови в нутритивное микрососудистое руло и улучшения веноулярного оттока.
2. 10-кратное введение экзогенного мелатонина приводит к прогрессивному достоверному увеличению сосудистых компонентов регуляции микроциркуляции:  $A_n$  – на 50 % ( $p \leq 0,05$ ),  $A_m$  – на 30 % ( $p \leq 0,05$ ), что свидетельствует об усилении метаболической активности эндотелия, повышении числа функционирующих прекапилляров за счет снижения активности симпатических адренергических вазомоторов.
3. Изменение внесосудистых компонентов регуляции микроциркуляции после 10-кратного введения МТ, а именно увеличение  $A_p$  на 43 %,  $A_d$  на 20 % ( $p \leq 0,05$ ), свидетельствует об увеличении притока артериальной крови в микроуруло и улучшении венозного оттока.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта А № 15-04-06054.*

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

### Список литературы

1. Рапопорт С. И. Мелатонин и сердечно-сосудистая система. Терапевтические возможности мелатонина у больных артериальной гипертензией / Рапопорт С. И., Малиновская Н. К. // РМЖ. – 2010. – Т. 18, № 3. – С. 140–144.
2. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects. / Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. [et al.] // Cardiology. – 1989. – V.76. – P.428–432.
3. Engel B. T. Diurnal variations in central venous pressure / Engel B. T., Talan M. I. // Acta. Physiol. Scand. – 1991. – V.141. – P.273–278.
4. Viswanathan M. Expression of melatonin receptors in arteries involved in thermoregulation. / Viswanathan M., Laitinen J. T., Saavedra J. M. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. –1990. – V.87.– P.6200–6203.
5. Autoradiographic localization of putative receptors in the brains of two old world primates: cercopithecus aethiops and papio ursinus. / Stankov B., Capsoni S., Lucini V. et al. // Neuroscience. – 1993.– V.52. – P.459–468.
6. Маколкин В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В. И. Маколкин, В. В. Бранько, Е. А. Богданова // Пособие для врачей. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
7. Козлов В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей / Козлов В. И. – М.: Медицина, 2001. – 201 с.
8. Hoffman U. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion. / Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. // Microvascul. Res. – 1990. – 40. – P. 293–301.
9. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. – V. 40, №1. – P.31–35.
10. Schmid-Schonbein H. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations. / Schmid-Schonbein H., Ziege S. // Int. J. Microcir. – 1997. – 17. – P. 346–359.
11. Арушанян Э. Б. Хронофармакология на рубеже веков / Э. Б. Арушанян. – Ставрополь, 2005. – 575 с.
12. Weekley L. B. Pharmacological studies on the mechanism of melatonin induced vasorelaxation in rat aorta / L. B. Weekley // J. Pineal Res. – 1995. – Vol. 19. – P. 133–138.
13. Satake N., Oe H. Vasorelaxing action of melatonin in rat isolated aorta: possible endothelium dependent relaxation. / Satake N., Oe H., Sawada T., Shibata S. // Gen. Pharmacol. – 1991. – V.22. – P.1127–1133.
14. Chuang J. I. Melatonin decrease brain serotonin release, arterial pressure and heart rate in rats. / Chuang J. I., Chen S. S., Lin M. T. // Pharmacology. – 1993. – V.47. – P.91–97.
15. Martin F. G. Melatonin effect on serotonin uptake and release in rat platelets diurnal variation in responsiveness / F. G. Martin, G. Atienza, M. Aldegunde [et al.] // Life Sci. – 1993. – Vol. 53, №13. – P. 1079–1087.
16. Yasin S. The in vivo effect of melatonin on neurohypophysial hormone release in the rat. / Yasin S., Bojanowska E., Forsling M. L. // J. Physiol. – 1994. – V.475. – P.142–5.
17. Potentially beneficial cardiovascular effects of melatonin administration in women. / Cagnacci A., Arangino S., Angiolucci M. [et al.] // J. Pineal Res. – 1997. – V.22. – P.16–19.
18. Xia C. M. Effects of melatonin on blood pressure in stress-induced hypertension in rats / C. M. Xia, C. H. Shao, L. Xin [et al.] // Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. – 2008. – Vol. 35, №10. – P. 12.

19. Tan D. X. Ischemia/reperfusion-induced arrhythmias in the isolated rat heart: prevention by melatonin. / Tan D. X., Manchester L. C., Reiter R. J., Qi W., Kim S. J., El-Sokkary G. H. // *J. Pineal Res.* – 1998. – V.25. – P.184–91.
20. Заславская Р. М. Мелатонин (мелаксен) в комплексном лечении ишемической болезни сердца / Р. М. Заславская, Г. В. Лилица, Э. А. Щербань // *Практикующий врач.* – 2006. – № 2. – С. 14–19.
21. Чуян Е. Н. Влияние хронического гипокинетического стресса на тканевую микрогемодинамику / Е. Н. Чуян, М. Ю. Раваева // *Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова.* – 2015. – Т. 101, № 3. – С. 316–325.

## THE ROLE OF MELATONIN IN THE REGULATION OF MICROGEMODYNAMICS

*Ravaeva M. Y., Chuyan E. N., Pavlova L. V.*

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

A method of laser Doppler flowmetry found that when daily 10-times with administration of melatonin (1 mg / kg) was observed change oscillator indicators tissue microhemodynamics, indicating an increase in perfusion of peripheral tissues and blood flow modulation in microvessels by improving endothelium-independent vasodilation, reduced peripheral resistance, increase blood flow in the microvasculature and Nutritional improvement venular outflow. Possible mechanisms of action of melatonin on tissue microhemodynamics.

The introduction of exogenous MT led to an improvement in tissue microhemodynamics due to an increase in endothelium-independent vasodilatation, a decrease in the activity of sympathetic adrenergic vasomotors and a decrease in peripheral resistance, an increase in blood flow to the nutrient microvascular bed, and an improvement in venular outflow.

Our data are consistent with the literature data and significantly supplement them with information that the vasodilatation effect of MT is realized in its ability to influence (and / or modulate) all the links of the multilevel control of microhemodynamics in which the endothelial activity, neurogenic, myogenic, pulse and respiratory components of the oscillations are involved in the implementation of the vasodilating effect of MT.

The results of this experiment complement our previous studies, make a significant contribution to understanding the mechanisms of therapeutic efficacy of MT and demonstrate the promise of further studies of the effect of MT on microhemodynamics in various experimental models.

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, tissue microhemodynamics, melatonin.

### References

1. Rapoport S. I., Malinovskaya N. K. Melatonin i serdechno-sosudistaya sistema. Terapevticheskiye vozmozhnosti melatonina u bol'nykh arterial'noy gipertenziyey, *RMZH*, 18, 3, 140 (2010).
2. Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. et al. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects, *Cardiology*, 76, 428 (1989).

3. Engel B. T., Talan M. I. Diurnal variations in central venous pressure, *Acta. Physiol. Scand.*, **141**, 273 (1991).
4. Viswanathan M., Laitinen J. T., Saavedra J. M. Expression of melatonin receptors in arteries involved in thermoregulation, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **87**, 6200 (1990).
5. Stankov B., Capsoni S., Lucini V. et al. Autoradiographic localization of putative receptors in the brains of two old world primates: cercopithecus aethiops and papio ursinus, *Neuroscience*, **52**, 459 (1993).
6. Makolkin V. I., Bran'ko V. V., Bogdanova Ye. A. *Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii v kardiologii*, Posobiye dlya vrachey, 48 (M.: Rossel'khozakademiya, 1999).
7. Kozlov V. I. *Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii: posobiye dlya vrachey*, 201 (M. Meditsina. 2001).
8. Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion. *Microvascul. Res.*, **40**, 293 (1990).
9. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system, *Contemporary Physics.*, **40**, **1**, 31 (1999).
10. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations, *Int. J. Microcir.*, **17**, 346 (1997).
11. Arushanyan E. B. *Khronofarmakologiya na rubezhe vekov*, 575 (Stavropol', 2005).
12. Weekley L. B. Pharmacological studies on the mechanism of melatonin induced vasorelaxation in rat aorta, *J. Pineal Res.*, **19**, 133 (1995).
13. Satake N., Oe H., Sawada T., Shibata S. Vasorelaxing action of melatonin in rat isolated aorta: possible endothelium dependent relaxation, *Gen. Pharmacol.*, **22**, 1127 (1991).
14. Chuang J. I., Chen S. S., Lin M. T. Melatonin decrease brain serotonin release, arterial pressure and heart rate in rats, *Pharmacology.*, **47**, 91 (1993).
15. Martin F. G., Atienza G., Aldegunde M. [et al.] Melatonin effect on serotonin uptake and release in rat platelets diurnal variation in responsiveness, *Life Sci.*, **53**, **13**, 1079 (1993).
16. Yasin S., Bojanowska E., Forsling M. L. The in vivo effect of melatonin on neurohypophysial hormone release in the rat, *J. Physiol.*, **475**, 142 (1994).
17. Cagnacci A., Arangino S., Angiolucci M., et al. Potentially beneficial cardiovascular effects of melatonin administration in women, *J. Pineal Res.*, **22**, 16 (1997).
18. Xia C. M., Shao C. H., Xin L. [et al.] Effects of melatonin on blood pressure in stress-induced hypertension in rats, *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.*, **35**, **10**, 12 (2008).
19. Tan D. X., Manchester L. C., Reiter R. J., Qi W., Kim S. J., El-Sokkary G. H. Ischemia/reperfusion-induced arrhythmias in the isolated rat heart: prevention by melatonin, *J. Pineal Res.*, **25**, 184 (1998).
20. Zaslavskaya R. M., Lilitsa G. V., Shcherban' E. A. Melatonin (melaksen) v kompleksnom lechenii ishemiceskoy bolezni serdtsa, *Praktikuyushchiy vrach.*, **2**, 14 (2006).
21. Chuyan Ye. N., Ravayeva M. YU. Vliyaniye khronicheskogo gipokineticheskogo stressa na tkanevuyu mikrogemodinamiku, *Rossiyskiy fiziologicheskij zhurnal imeni I.M. Sechenova.*, **101**, **3**, 316 (2015).

**УДК 57.01**

## **РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭНДОТЕЛИЯ**

*Раваева М. Ю., Чуюн Е. Н., Павлова Л. В.*

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

Методом лазерной доплеровской флоуметрии установлено, что при ежедневном 10-кратном введении мелатонина (1мг/кг) происходит достоверное увеличение функциональной активности эндотелия на 154 %, ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений, зарегистрированных у интактных животных. Это приводит к росту интегральных показателей микрогемодинамики, что свидетельствует об увеличении перфузии периферических тканей и модуляции кровотока в микрососудах за счет повышения эндотелий-зависимой вазодилатации. Рассматриваются возможные механизмы действия мелатонина на микрогемодинамику.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, микрогемодинамика, функциональная активность эндотелия, мелатонин.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Повышенное внимание исследователей привлекают исследования регуляторной роли эпифиза и его основного гормона мелатонина (МТ) в различных физиологических функциях организма. Ключевая роль МТ определяется тем обстоятельством, что ритмам его продукции подчинены все эндогенные ритмы организма. В частности, наличие циркадианной ритмики артериального [1] и центрального венозного давления у людей [2] свидетельствует об участии МТ и в регуляции функций сердечно-сосудистой системы.

Однако на сегодняшний день получены противоречивые сведения о влиянии МТ на тонус сосудов. Одни исследования свидетельствуют о вазоконстрикторном действии МТ [3], другие, наоборот – вазодилаторном [4]. Амбивалентность действия МТ объясняется тем, что в сосудистой стенке идентифицированы две функционально различные субпопуляции МТ рецепторов. Как установлено с помощью меченого агониста йодмелатонина и ауторадиографии, низкие наномолярные концентрации МТ «запускают» МТ<sub>1</sub> рецепторы, ответственные за сужение сосудов, их расширение – следствие включения МТ<sub>2</sub> рецепторов при более высоком уровне гормона в крови [5].

В этой связи целью настоящего исследования явилась оценка характера влияния МТ в физиологических концентрациях (1мг/кг) на функциональную активность эндотелия у крыс линии Вистар.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Экспериментальная часть работы выполнена на 20 белых крысах-самцах линии Вистар массой 180–250 г. Все исследования проводились согласно международным принципам Европейской конвенции «О защите позвоночных животных, которые используются для экспериментов и других научных целей», норм биомедицинской этики.

Для экспериментов отбирали животных одинакового возраста, характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля». После предварительного отбора животных разделили на 2 группы по 10 крыс в каждой.

Животные обеих групп находились в обычных условиях вивария. Крысы первой группы являлись биологическим контролем (контроль), им ежедневно в утренние часы в течение 10-ти суток внутрибрюшинно вводили физиологический раствор объемом 0,2 мл. Крысам второй (экспериментальной) группы вводили 1 мг/кг МТ (Sigma, China), который разводили физиологическим раствором объемом 0,2 мл. Доза МТ выбрана в соответствии с данными литературы [6, 7].

Исследование изменений параметров микроциркуляции крови проводилось методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) при помощи лазерного анализатора кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (производство НПП «Лазма», Россия) с использованием программы LDF 2.20.0.507WL. Исследование базального кровотока проводилось в течение 6-ти минут на 1, 5 и 10 сутки эксперимента, что соответствовало 1-, 5- и 10-кратному введению МТ. ЛДФ-метрию проводили через 1 час после введения МТ (у экспериментальной группы) и физиологического раствора (у контрольной группы).

Поскольку метод ЛДФ-метрии является высокочувствительным, то для сведения к минимуму внешних помех крысу на время записи помещали в прозрачный пенал из оргстекла, ограничивающий подвижность животного. Размер пенала регулировался индивидуально и подбирался так, чтобы животное могло свободно дышать, и ни одна часть тела не была плотно зажата. Хвост крысы фиксировали на ровной поверхности на одной линии с телом в горизонтальном положении тканевым пластырем. Оптоволоконный зонд прибора «ЛАКК-02» также фиксировался тканевым пластырем перпендикулярно у основания хвоста. Запись сигнала велась, когда животное сидело неподвижно и спокойно.

В качестве параметров, анализируемых методом ЛДФ, регистрировали неосцилляторные показатели базального кровотока: показатель перфузии (ПМ, перф. ед.), среднее квадратичное отклонение (флакс, СКО, перф. ед.), коэффициент вариации (КВ, %) [8]. С помощью вейвлет-анализа ЛДФ-сигнала определяли амплитуду колебаний кровотока с низкой частотой (0,0095–0,02 Гц), которая характерна для эндотелиальных колебаний, обусловленных периодическими сокращениями цитоскелета эндотелиоцитов. Эндотелиальные колебания отражают воздействие гуморально-метаболических факторов на микрососудистое русло и характеризуют состояние нутритивного кровотока [9]. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета «STATISTICA – 8.0». Поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального, оценка

достоверности межгрупповых различий проводилась с помощью U-теста Манна – Уитни.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что у животных экспериментальной группы уже после однократного введения МТ существенно увеличивались амплитуды колебаний эндотелиального генеза (Аэ, на 23 %,  $p \leq 0,05$ ) относительно значений, зарегистрированных у интактных животных. Данная динамика сохранялась на протяжении последующих измерений и после 10-кратного введения МТ Аэ составила 154 % ( $p \leq 0,05$ ) относительно показателей в контрольной группе животных. Поскольку Аэ синхронизированы с периодическим релизингом оксида азота (NO) эндотелием сосудов [10], то повышение данного показателя свидетельствует об увеличении секреции NO эндотелием и, как следствие, развитии эндотелий-зависимой вазодилатации.

Данные изменения микрогемодинамики нашли свое отражение в увеличении неосцилляторных показателей базального кровотока (рис.), динамика которых была схожа с таковой осцилляторных показателей. Так, после первого введения МТ наблюдалось достоверное увеличение ПМ на 29 % ( $p \leq 0,05$ ), СКО – на 25 % ( $p \leq 0,05$ ) и Кв – на 27 % ( $p \leq 0,05$ ), а после 10-кратного введения данные показатели увеличились соответственно на 44 % ( $p \leq 0,05$ ), 35 % ( $p \leq 0,05$ ) и на 28 % ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений этих показателей, зарегистрированных у животных контрольной группы, что указывает на увеличение перфузии крови и модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах.

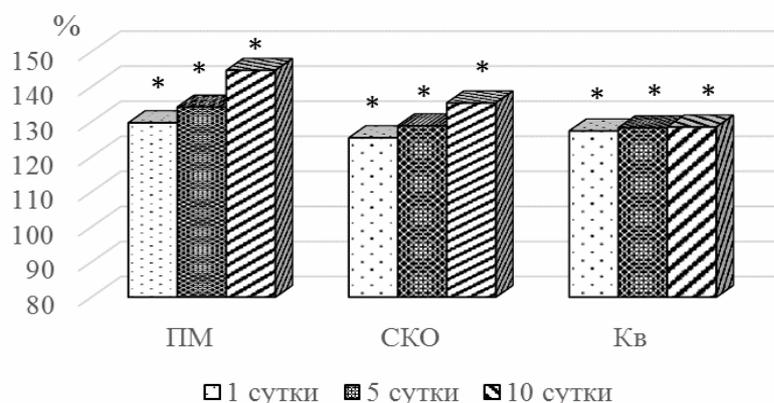


Рис. 1. Динамика неосцилляторных показателей микроциркуляции у животных после 1-, 5- и 10-кратного (соответственно 1, 5 и 10 сутки эксперимента) введения МТ, что соответствовало 1, 5 и 10 суткам эксперимента (в % по отношению к значениям данных показателей в контрольной группе, принятым за 100 %).

Таким образом, введение экзогенного МТ приводило к улучшению тканевой микрогемодинамики за счет увеличения эндотелий-зависимой вазодилатации, усилению метаболической активности эндотелия. Необходимо отметить, что увеличение кратности применения МТ привело к прогрессивному увеличению вазотропных реакций, и как следствие – снижению тонуса микрососудов, что согласуется с результатами исследований [11], которые показали, что в среднем на 5-е сутки введения МТ развивался стойкий эффект, являющийся гипотензивным.

Действительно, в большом числе исследований на животных в условиях повышенного тонуса артериальных сосудов *in vitro* и *in vivo* продемонстрировано, что МТ оказывает значимый сосудорасширяющий эффект [12]. В экспериментах на животных выявлено, что пинеалэктомия приводит к стойкому повышению артериального давления [13], уровень которого снижается до нормальных цифр при экзогенном введении МТ. У пинеалэктомизированных животных также определена повышенная чувствительность рецепторного аппарата сосудов к вазоконстрикторным агентам [14]. Совокупность экспериментальных и клинических данных является основанием называть МТ одним из главных эндогенных центральных гипотензивных факторов [15].

Выявлено, что экзогенное введение МТ достоверно увеличивает эндотелиальные осцилляции, что отражает увеличение метаболической активности эндотелия. Вероятно, это обусловлено стимулирующим влиянием МТ на продукцию NO-синтазы клетками эндотелия сосудов с последующим увеличением продукции оксида азота и вазодилатацией. Данный механизм показан в эксперименте на крысах со спонтанной гипертонией [16]. Кроме этого, отмечено повышение продукции оксида азота на фоне приема МТ по сравнению с исходным уровнем [17].

Показанное в настоящем исследовании увеличение неосцилляторных показателей микроциркуляции является интегральной характеристикой улучшения тканевой микрогемодинамики, вклад в которую могут вносить не только сосудистые осцилляции, но и реологические свойства крови. В пользу этого свидетельствуют данные о способности МТ замедлять агрегацию тромбоцитов, на которых обнаружены места его специфического связывания, через ограничение выработки тромбксана и, наоборот, активацию синтеза простаглицина. Показана прямая зависимость между уровнем гормона в крови людей, степенью дезагрегантного эффекта и подавления продукции тромбксана. Наконец, его способность подавлять высвобождение тромбоцитарного серотонина, обуславливающего сужение сосудов, служит дополнительным источником вазодилатации [18]. Кроме того, МТ может понижать периферическое сосудистое сопротивление току крови за счет своего антиатерогенного действия. Под влиянием гормона снижается плазменное содержание атерогенных липидов и тормозится их перекисное окисление [19].

Таким образом, МТ в физиологической дозе обладает способностью оказывать вазодилататорное действие на микрососуды. Вероятно, именно с непосредственным влиянием на микрогемодинамику связан его гипотензивный эффект при системной артериальной гипертонии. В то же время, как показали результаты настоящего исследования, МТ оказывает влияние и на внесосудистые компоненты регуляции

сосудистого тонуса, что подтверждает многочисленные сведения о его универсальном модулирующем действии на деятельность центральной нервной системы, а также периферических органов и тканей, демонстрируя высокий терапевтический потенциал при различных заболеваниях [20], особенно, связанных с нарушением циркадианной ритмики, к которым можно отнести практически все «болезни цивилизации».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты нашего исследования вносят существенный вклад в понимание механизмов терапевтической эффективности МТ и демонстрируют перспективность дальнейших исследований действия МТ на микрогемодинамику в различных экспериментальных моделях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта А № 15-04-06054.*

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

## Список литературы

1. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects. / Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. [et al]. // *Cardiology*. – 1989. – V.76. – P.428–432.
2. Engel B. T. Diurnal variations in central venous pressure. / Engel B. T., Talan M. I. // *Acta. Physiol. Scand.* – 1991. – V.141. – P.273–278.
3. Aarseth J. J. Melatonin potentiates the vasoconstrictive effect of noradrenalin in renal artery from newborn hooded seals and harp seals / J. J. Aarseth, E. S. Nordog, K. A. Stokkan // *J. Comp. Physiol.* – 2001. – Vol. 171, №6. – P. 491–496.
4. Weekley L. B. Pharmacologic studies on the mechanism of melatonin-induced vasorelaxation in rat aorta. / Weekley L. B. // *J. Pineal Res.* – 1995. – V. 19. – P.133–138.
5. Doolen S. Melatonin mediates two distinct responses in vascular smooth muscle / S. Doolen, D. N. Krause, M. Dubocovich // *Eur.J. Pharmacol.* – 1998. – Vol. 345. – P. 67–69.
6. Canpolat S. Effects of melatonin on catecholaminergic neurotransmitters in brain areas regulating food intake in the female rat / Canpolat S., Sandal S., Kutlu S., Aydin M., Yilmaz B., Kelestimur H. // *Endocrine Abstratscs.* – 2004. – Vol. 7. – P. 160.
7. Chen H. M. Melatonin reduces pancreatic prostaglandins production and protects against caerulein-induced pancreatitis in rats / Chen H. M., Chen J. C., Ng C. J., Chen M. F. // *J. Pineal Res.* – 2006. – Vol. 40, No 1. – P. 34–39.
8. Рапопорт С. И. Мелатонин и сердечно-сосудистая система. Терапевтические возможности мелатонина у больных артериальной гипертензией / Рапопорт С. И., Малиновская Н. К. // *РМЖ.* – 2010. – Т. 18, № 3. – С. 140–144.

9. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects / Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. [et al]. // *Cardiology*. – 1989. – V.76. – P.428–432.
10. Engel B. T. Diurnal variations in central venous pressure. / Engel B. T., Talan M. I. // *Acta. Physiol. Scand.* – 1991. – V. 141. – P.273–278.
11. Viswanathan M. Expression of melatonin receptors in arteries involved in thermoregulation. / Viswanathan M., Laitinen J. T., Saavedra J. M. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 1990. – V. 87.– P. 6200–6203.
12. Autoradiographic localization of putative receptors in the brains of two old world primates: cercopithecus aethiops and papio ursinus. / Stankov B., Capsoni S., Lucini V. [et al]. // *Neuroscience*. – 1993.– V.52. – P. 459–468.
13. Маколкин В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В. И. Маколкин, В. В. Бранько, Э. А. Богданова // Пособие для врачей. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
14. Козлов В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей. / Козлов В. И. // М.: Медицина, 2001. – 201 с.
15. Hoffman U. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion. / Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. // *Microvascul. Res.* 1990. – V. 40. – P. 293–301.
16. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // *Contemporary Physics*. – 1999. – V. 40, №1. – P. 31–35.
17. Schmid-Schonbein H. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations. / Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. // *Int. J. Microcir.* 1997. – V.17. – P. 346–359.
18. Арушанян Э. Б. Хронофармакология на рубеже веков / Э. Б. Арушанян. – Ставрополь, 2005. – 575 с.
19. Weekley L. B. Pharmacological studies on the mechanism of melatonin induced vasorelaxation in rat aorta / L. B. Weekley // *J. Pineal Res.* – 1995. – Vol. 19. – P. 133–138.
20. Satake N. Vasorelaxing action of melatonin in rat isolated aorta: possible endothelium dependent relaxation. / Satake N., Oe H., Sawada T., Shibata S. // *Gen. Pharmacol.* – 1991. – V. 22. – P.1127–1133.

## **THE ROLE OF MELATONIN IN THE REGULATION OF THE FUNCTIONAL ACTIVITY OF ENDOTHELIAL**

*Ravaeva M. Y., Chuyan E. N., Pavlova L. V.*

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

A method of laser Doppler flowmetry found that by 10 times with daily administration of melatonin (1 mg / kg) there is a significant increase in functional activity of endothelial 154 %, ( $p \leq 0,05$ ) relative values recorded in intact animals. This leads to the growth of integrated indicators microhemodynamics, indicating that increase peripheral tissue perfusion and blood flow in microvessels modulation by increasing the endothelium-dependent vasodilatation. Possible mechanisms of action of melatonin on microhemodynamics.

MT in a physiological dose has the ability to exert a vasodilator effect on microvessels. Probably, it is with direct influence on microhemodynamics that its hypotensive effect is associated with systemic arterial hypertension. At the same time, as the results of this study have shown, MT also affects the extravascular components of vascular tone regulation, which confirms numerous data on its universal modulatory effect on the activity of the central nervous system and peripheral organs and tissues, demonstrating the high therapeutic potential in various diseases, especially associated

with the disruption of circadian rhythm, to which almost all "diseases of civilization" can be attributed.

The results of our study make a significant contribution to understanding the mechanisms of therapeutic effectiveness of MT and demonstrate the promise of further studies of the effect of MT on microhemodynamics in various experimental models.

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, microhemodynamics, functional endothelial activity of melatonin.

### References

1. Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. et al. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects, *Cardiology*, **76**, 428 (1989).
2. Engel B. T., Talan M. I. Diurnal variations in central venous pressure, *Acta. Physiol. Scand.*, **141**, 273 (1991).
3. Aarseth J. J., Nordog E. S., Stokkan K. A. Melatonin potentiates the vasoconstrictive effect of noradrenalin in renal artery from newborn hooded seals and harp seals, *J. Comp. Physiol.*, **171**, **6**, 491 (2001).
4. Weekley L.B. Pharmacologic studies on the mechanism of melatonin-induced vasorelaxation in rat aorta, *J. Pineal Res.*, **19**, 133 (1995).
5. Doolen, S. Melatonin mediates two distinct responses in vascular smooth muscle / S. Doolen, D.N. Krause, M. Dubocovich, *Eur.J. Pharmacol.*, **345**, 67 (1998).
6. Canpolat S., Sandal S., Kutlu S., Aydin M., Yilmaz B., Kelestimur H. Effects of melatonin on catecholaminergic neurotransmitters in brain areas regulating food intake in the female rat, *Endocrine Abstracts.*, **7**, 160 (2004).
7. Chen H. M., Chen J. C., Ng C. J., Chen M. F. Melatonin reduces pancreatic prostaglandins production and protects against caerulein-induced pancreatitis in rats, *J. Pineal Res.*, **40**, **1**, 34 (2006).
8. Rapoport S. I., Malinovskaya N. K. Melatonin i serdechno-sosudistaya sistema. Terapevticheskiye vozmozhnosti melatoninu bol'nykh arterial'noy gipertenziyey, *RMZH*, **18**, **3**, 140 (2010).
9. Portaluppi F., Montanari L., Bagni B. et al. Circadian rhythms of atrial natriuretic peptide, blood pressure and heart rate in normal subjects, *Cardiology*, **76**, 428 (1989).
10. Engel B. T., Talan M. I. Diurnal variations in central venous pressure, *Acta. Physiol. Scand.*, **141**, 273 (1991).
11. Viswanathan M., Laitinen J. T., Saavedra J. M. Expression of melatonin receptors in arteries involved in thermoregulation, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **87**, 6200 (1990).
12. Stankov B., Capsoni S., Lucini V. et al. Autoradiographic localization of putative receptors in the brains of two old world primates: cercopithecus aethiops and papio ursinus, *Neuroscience*, **52**, 459 (1993).
13. Makolkin V.I. Bran'ko V.V., Bogdanova È.A. *Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii v kardiologii*, Posobiye dlya vrachey, 48 (M.: Rossel'khozakademiya, 1999).
14. Kozlov V. I. *Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii: posobiye dlya vrachey*, 201 (M. Meditsina. 2001).
15. Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion., *Microvascul. Res.*, **40**, 293 (1990).
16. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system, *Contemporary Physics.*, **40**, **1**, 31 (1999).
17. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations. *Int. J. Microcir.*, **17**, 346 (1997).
18. Arushanyan E. B. *Khronofarmakologiya na rubezhe vekov*, 575 (Stavropol', 2005).
19. Weekley, L.B. Pharmacological studies on the mechanism of melatonin induced vasorelaxation in rat aorta, *J. Pineal Res.*, **19**, 133 (1995).
20. Satake N., Oe H., Sawada T., Shibata S. Vasorelaxing action of melatonin in rat isolated aorta: possible endothelium dependent relaxation., *Gen. Pharmacol.*, **22**, 1127 (1991).

**УДК 635.9:712.42:582.572.7**

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ И СОРТООЦЕНКА НОВЫХ И НОВЕЙШИХ СОРТОВ ИРИСА ГИБРИДНОГО (*IRIS HYBRIDA* HORT.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ КРЫМА**

*Решетникова Л. Ф.*

*Ботанический сад имени Н. В. Багрова Крымского федерального университета  
имени В. И. Вернадского, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: l.kirpicheva@mail.ru*

В Ботаническом саду им. Н. В. Багрова КФУ им. В. И. Вернадского проведено изучение 38 новых и новейших высокорослых сортов ириса гибридного по декоративным и хозяйственно-ценным признакам. При оценке сортов с целью формирования перспективного сортимента и в зависимости от его использования в озеленении наиболее значимыми признаками являлись: форма цветка, плотность долей околоцветника, прочность и высота цветоноса, продуктивность и длительность цветения. Выявлено 12 высокоперспективных сортов из изученного сортимента, которые характеризуются комплексом ценных признаков.

**Ключевые слова:** *Iris hybrida hort.*, сорт, интродукция, фенология, репродукция, сортооценка, коллекция, перспективный сортимент.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Ирис гибридный (*Iris hybrida hort.*), или ирис бородатый, является одним из универсальных многолетников в современном фитодизайне. Современные сорта отличаются богатством окраски, совершенством формы цветка, продолжительностью цветения. Американским обществом ирисоводов (American Iris Society – AIS) ежегодно регистрируются сотни сортов. Сейчас насчитывается порядка 80 000 сортов бородатых ирисов различных садовых классов [1–3].

Одним из этапов интродукции растений является всестороннее изучение и оценка в конкретных эдафо-климатических условиях, выявление перспективных в декоративном отношении растений, а также установление оптимальных показателей их репродуктивности.

Цель работы – выявить из новых и новейших сортов коллекции сортимент с высокими декоративными и хозяйственно-биологическими признаками для использования в цветочном оформлении в Предгорной зоне Крыма.

Работа по сортооценке нового сортимента коллекции ириса гибридного проводилась в 2015–2017 гг. на базе коллекции Ботанического сада им. Н.В. Багрова, расположенного в Предгорной зоне Крыма. Почвенный покров сложен из аллювиально-луговых и лугово-черноземных почв. Климат умеренно-континентальный засушливый. Среднегодовое количество осадков – 500 мм,

средняя температура июля от 20 до 21 °С, средняя температура января от минус 3 до минус 2 °С [4].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили 38 новых и новейших ирисов (выведенных после 2000 г.), относящихся к садовой группе ТВ «Высокие бородатые».

Для определения декоративных и хозяйственно-биологических качеств новых и новейших сортов использовались общепринятые методики сортооценки и сортоизучения декоративных растений [5, 6], а также модифицированная нами шкала 100-балльной комплексной оценки. В ее основу была положена шкала, предложенная В. Н. Быловым [7]. Сумму баллов, набранных сортами при характеристике их по всем показателям, использовали для определения группы перспективности.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Коллекция ирисов Ботанического сада была заложена осенью 2005 г. Первоначально коллекция включала 94 сорта ириса гибридного, полученных из НБС-ННЦ и НБС им. Н. Н. Гришко НАН Украины. С 2006 г. коллекция ирисов систематически пополнялась сортами зарубежной и отечественной селекции из коллекций ботанических садов и дендропарков России и Украины, а также из частных коллекций и фирм. Основу коллекции (81 % от общего количества таксонов) составляют сорта ириса гибридного в соответствии с их безусловным лидерством в мировом ассортименте садовых ирисов. К настоящему моменту в составе коллекции прошли интродукционное испытание более 400 культиваров отечественной и зарубежной селекции (табл. 1).

**Таблица 1**

**Состав коллекции бородатых ирисов по садовым группам**

Садовая группа	Кол-во сортов, шт.	Количество сортов (от общего объема коллекции), %
Стандартные карликовые бородатые ирисы (SDB)	42	11,2
Среднерослые бородатые ирисы (IMB, SMB, VB)	24	6,4
Высокие бородатые ирисы (ТВ)	338	82,4
Всего	404	100

В принятой в Российском обществе ириса (РОИ) классификации сортов по их возрасту сорта не старше 20 лет считаются новыми, не старше 10 лет – новейшими [8]. В коллекции Ботанического сада им. Н. В. Багрова в настоящее время представлено 38 новых и новейших сортов ириса гибридного (табл. 2).

Таблица 2

**Сортимент ирисов коллекции Ботанического сада им. Н. В. Багрова,  
включенных в изучение**

№	Сорт	Садовая группа	Оригинатор	Год создания или введения в культуру
1	2	3	4	5
1	Austar Pink	TB	Crosvenor	2002
2	Blue Ridge Beauty	TB	Spoon	2000
3	Carl and Sissy	TB	Black	2002
4	Dark Drama	TB	Keppel	2005
5	Daughter of Stars	TB	Spoon	2001
6	Dinner Talk	TB	Blyth	2005
7	Excess Energy	TB	Hedgecock	2007
8	Fortunate Son	TB	Schreiner	2006
9	Glitterati	TB	Blyth	2000
10	Golly Gee Whiz	TB	Burseen	2003
11	Good As it Gets	TB	R.Ernst	2007
12	Harvest Maiden	TB	Schreiner	2007
13	High Chaparral	TB	Schreiner	2006
14	High Class	TB	Black	2003
15	Hook	TB	Johnson	2001
16	Just Crazy	TB	Blyth	2007
17	Leaps and Bounds	TB	Niswonger	2001
18	Living Easy	TB	Johnson	2008
19	Lovely Senorita	TB	Schreiner	2002
20	Mandarin Music	TB	Blyth	2007
21	Money in your Pocket	TB	Black	2007
22	Moroccan Magic	TB	Blyth	2004
23	Noctambule	TB	Cayeux	2006
24	Paris Fashion	TB	Keppel	2003
25	Parisian Dawn	TB	Keppel	2006
26	Political Zoo	TB	A.& D.Cadd	2008
27	Ravissant	TB	Cayeux	2006
28	Ring Around Rosie	TB	Ernst	2000
29	Slovak Prince	TB	Mego	2002
30	Snapshot	TB	Johnson	2008
31	Strut your Stuff	TB	Black	2007
32	Воздушество	TB	Локтев	2007
33	Два Кольори	TB	Черногуз	2011
34	Ласточкино Гнездо	TB	Локтев	2003
35	Возрождение Чистой Воды	TB	Локтев	2002
36	Сомерсет Моэм	TB	Локтев	2008
37	Людвиг Вингенштейн	TB	Локтев	2007
38	Сонячні Кларнети	TB	Черногуз	2008

В результате проведенной сортооценки по комплексу декоративных и хозяйственно-биологических признаков были выделены наиболее перспективные сорта по декоративным качествам: окраске (принимались во внимание яркость, чистота, насыщенность цвета), форме (наличие гофрировки на краях долей околоцветника и их пространственное расположение), размеру цветка, плотности долей околоцветника, интенсивности цветения (количеству одновременно открытых цветков на растении), аромату, оригинальности сорта (наличие особых качеств и свойств формы цветка и окраски, выделяющих его на фоне остальных), устойчивости цветков к выгоранию. При оценке хозяйственно-биологических признаков учитывалась способность к вегетативному размножению, продуктивность цветения (общее число цветков на растении), продолжительность цветения, устойчивость к болезням и вредителям, а также зимостойкость (табл. 3).

В результате фенологических наблюдений сорта ириса гибридного были разделены по срокам цветения на ранние (16 сортов), средние (19 сортов) и поздние (2 сорта). К ранним были отнесены сорта, начало цветения которых приходится на середину мая: 'Blue Ridge Beauty', 'Daughter of Stars', 'Fortunate Son', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'High Class', 'Leaps and Bounds', 'Mandarin Music', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic', 'Noctambule', 'Political Zoo', 'Slovak Prince', 'Snapshot', 'Возрождение Чистой Воды', 'Сомерсет Моэм'. Начало цветения средних сортов – конец мая: 'Austar Pink', 'Carl and Sissy', 'Dark Drama', 'Dinner Talk', 'Excess Energy', 'Glitterati', 'Harvest Maiden', 'High Chaparral', 'Hook', 'Living Easy', 'Lovely Senorita', 'Paris Fashion', 'Parisian Dawn', 'Ravissant', 'Ring Around Rosie', 'Strut your Staff', 'Воздушество', 'Ласточкино Гнездо', 'Сонячні Кларнети'. Цветение поздних сортов приходится на начало июня: 'Два Кольори', 'Людвиг Вингенштейн'.

Исследуемый сортимент по окраске цветка был разделен на 6 групп: одноцветные, двухтонные, двухцветные, пликата, люмината, переливчатые. Одноцветная группа включает сорта с белыми, желтыми, фиолетовыми, розовыми, бордовыми, голубыми и синими цветками.

По форме цветка выделено 10 сортов с гофрированным краем долей околоцветника: 'Dinner Talk', 'Good As it Gets', 'Hook', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic', 'Strut your Staff', 'Slovak Prince', 'Snapshot', 'Воздушество', 'Сонячні Кларнети'), а также 3 сорта с «парящими» нижними долями околоцветника ('Noctambule', 'Ласточкино Гнездо', 'Сомерсет Моэм'.

Наиболее крупные цветки диаметром 15–18 см отмечены у 12 сортов: 'Blue Ridge Beauty', 'Dinner Talk', 'Excess Energy', 'High Chaparral', 'Hook', 'Just Crazy', 'Lovely Senorita', 'Paris Fashion', 'Parisian Dawn', 'Snapshot', 'Воздушество'.

Выявлено 27 сортов с высокими прочными цветоносами (110–120 см), не требующими дополнительной опоры: 'Austar Pink', 'Blue Ridge Beauty', 'Dark Drama', 'Daughter of Stars', 'Fortunate Son', 'Glitterati', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'Harvest Maiden', 'High Chaparral', 'High Class', 'Just Crazy', 'Living Easy', 'Lovely Senorita', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic', 'Paris Fashion', 'Parisian Dawn', 'Ravissant', 'Ring Around Rosie', 'Slovak Prince', 'Snapshot', 'Strut your Staff', 'Воздушество', 'Ласточкино Гнездо', 'Сонячні Кларнети', 'Людвиг Вингенштейн'.

Таблица 3

**Шкала оценки декоративных и хозяйственно-ценных признаков  
высокорослых сортов *Iris hybrida hort.***

Признак	Оценка признака по 5-балльной системе, балл	Переводной коэффициент в зависимости от значимости признака	Оценка признака по 100-балльной системе, балл
<b>Декоративные признаки</b>			
Окраска цветка	5	1	5
Форма цветка (край долей околоцветника, расположение)	5	2	10
Размер цветка	5	1	5
Плотность долей околоцветника	5	2	10
Прочность цветоноса	5	2	10
Высота цветоноса	5	1	5
Длительность цветения	5	2	10
Аромат	5	1	5
Устойчивость окраски цветков к выгоранию	5	1	5
Количество одновременно раскрытых цветков	5	1	5
<b>Хозяйственно-ценные признаки</b>			
Способность к вегетативному размножению	5	2	10
Продуктивность цветения	5	2	10
Зимостойкость	5	1	5
Сравнительная поражаемость болезнями и вредителями	5	1	5
Итого			100

По интенсивности цветения выделены 15 сортов: 'Carl and Sissy', 'Dinner Talk', 'High Class', 'Just Crazy', 'Leaps and Bounds', 'Living Easy', 'Lovely Senorita', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic', 'Noctambule', 'Paris Fashion', 'Political Zoo', 'Slovak Prince', 'Snapshot', 'Воздушество', имеющие одновременно 8–12 открытых цветков на цветоносе.

Выделен 1 сорт ('Just Crazy') с наличием рисунка на долях околоцветника.

С ярко выраженным приятным ароматом выявлено 16 сортов: 'Austar Pink', 'Carl And Sissy', 'Daughter of Stars', 'Excess energy', 'Golly Gee Whiz', 'Harvest Maiden', 'High Class', 'Just Crazy', 'Mandarin Music', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic',

'Paris Fashion', 'Parisian Dawn', 'Snapshot', 'Воздушество', Сомерсет Моэм', 'Людвиг Вингенштейн'.

Установлено, что длительность цветения зависела от количества цветков в соцветии и от погодных условий. Наиболее длительный период цветения (20–25 дней) выявлен у 21 сорта ('Blue Ridge Beauty', 'Daughter of Stars', 'Fortunate Son', 'Glitterati', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'High Chaparral', 'High Class', 'Leaps and Bounds', 'Moroccan Magic', 'Noctambule', 'Paris Fashion', 'Parisian Dawn', 'Political Zoo', 'Ravissant', 'Slovak Prince', 'Snapshot', 'Воздушество', 'Возрождение Чистой Воды', 'Людвиг Вингенштейн'). Минимальный период цветения (7–8 дней) отмечен у 5 сортов ('Dark Drama', 'Dinner Talk', 'Harvest Maiden', 'Ring Around Rosie', 'Два Кольори').

При подборе перспективного сортимента наряду с высокими требованиями к декоративным свойствам сорта большую роль играет оценка его хозяйственно-ценных качеств. Выявлено 19 сортов с высоким коэффициентом вегетативного размножения: 'Daughter of Stars', 'Fortunate Son', 'Glitterati', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'High Class', 'Moroccan Magic', 'Noctambule', 'Political Zoo', 'Ravissant', 'Slovak Prince' и другие.

Установлено, что все изученные сорта ирисов в условиях культивирования в Предгорной зоне Крыма отличаются высокой зимостойкостью. Выпадов в насаждениях, повреждений корневищ в течение зимнего периода за годы исследований не отмечено.

Определялась поражаемость ирисов грибными заболеваниями. Из 5 видов патогенных грибов, обнаруженных нами на сортах *Iris hybrida hort.*, наиболее распространенным и вредоносным оказался *Heterosporium gracile*, вызывающий гетероспориоз. Особенно активно признаки заболевания проявлялись в период повышенной влажности. Наибольшая степень поражения наблюдалась у 5 сортов: 'Blue Ridge Beauty', 'Lovely Senorita', 'Mandarin Music', 'Parisian Dawn', 'Воздушество'. Максимальную оценку получили сорта, пораженность листьев которых составила менее 10 %. Это 19 сортов из группы высоких ирисов: 'Daughter of Stars', 'Fortunate Son', 'Glitterati', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'High Chaparral', 'High Class', 'Leaps and Bounds', 'Moroccan Magic', 'Noctambule', 'Paris Fashion', 'Political Zoo' и другие.

В результате проведенной нами сортооценки садовых бородатых ирисов весь изученный сортимент по перспективности использования в декоративном цветоводстве был разделен на 3 группы.

К неперспективным (менее 65 баллов) для культивирования в условиях Предгорной зоны Крыма отнесено 8 сортов, имеющих низкие декоративные и хозяйственно-ценные качества. Ими являются: 'Leaps and Bounds', 'High Chaparral', 'Воздушество', Сомерсет Моэм', 'Людвиг Вингенштейн', 'Возрождение Чистой Воды', 'Два Кольори', 'Ласточкино Гнездо'.

Выделено 18 сортов средней перспективности (65–79 баллов): 'Austar Pink', 'Blue Ridge Beauty', 'Carl and Sissy', 'Excess Energy', 'Fortunate Son', 'Glitterati', 'Golly Gee Whiz', 'Good As it Gets', 'Harvest Maiden', 'Living Easy', 'Lovely Senorita',

'Mandarin Music', 'Noctambule', 'Paris Fashion', 'Political Zoo', 'Ravissant', 'Ring Around Rosie', 'Сонячні Кларнети'.

Выявлено 12 высокоперспективных сортов (80 и более баллов) из изученного сортимента, которые характеризуются комплексом ценных признаков: яркой окраской, оригинальной формой цветка, обильным и продолжительным цветением, высоким коэффициентом вегетативного размножения и сравнительно низкой поражаемостью болезнями и вредителями. Ими являются: 'Dark Drama', 'Dinner Talk', 'Daughter of Stars', 'High Class', 'Hook', 'Money in your Pocket', 'Moroccan Magic', 'Snapshot', 'Parisian Dawn', 'Strut your Staff', 'Slovak Prince', 'Just Crazy'.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенной сортооценки 38 новых и новейших сортов ириса гибридного коллекция Ботанического сада Н. В. Багрова выявлены 18 сортов средней перспективности и 12 высокоперспективных сортов, различающихся не только по окраске, но и по срокам цветения. Это позволит создавать из них декоративные цветочные композиции различных типов и максимально продлить цветение данной культуры в условиях Предгорной зоны Крыма.
2. На основании оценки декоративных и хозяйственно-ценных признаков сформирован сортимент для использования в селекции и озеленении данного региона.

*Статья публикуется в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ с госбюджетным финансированием № 6.7794.2017/БЧ по теме «Разработка системы рационального использования декоративных фитобиологических ресурсов на территории Крыма».*

### Список литературы

1. Бурлакова И. В. Ирисы. / Бурлакова И. В., Зыкова В. К. – М.: ЗАО «Фитон+», 2006. – 208 с.
2. Дацюк Е. И. Проблема идентификации и верификации исторических сортов ириса в научных коллекциях / Дацюк Е. И., Ефимов С. В. // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2014 – Т. 27 (66), № 5. – С. 38–46.
3. Родионенко Г. И. Ирисы / Родионенко Г. И. – СПб.: ООО «Диамант», «Агропромиздат», 2002. – 192 с.
4. Атлас «Автономная Республика Крым». – Киев – Симферополь, 2003. – 31 с.
5. Корнилова Т. С. Методика первичного сортоиспытания коллекции ириса гибридного / Корнилова Т. С. – Л.: ВИР им. Вавилова, 1971. – 17 с.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1968. – С. 24–27.
7. Былов В. Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений / Былов В. Н. // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 7–32.
8. <http://ruiris.ru/page15-1.html>

**COMPLEX STUDYING AND EVALUATION OF VARIETIES OF NEW AND  
NEWEST VARIETIES OF IRIS HYBRIDA HORT. IN THE FOOTHILL ZONE  
OF CRIMEA**

*Reshetnikova L. F.*

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

One of the main tasks of the introduction work with flower-decorative plants is the allocation of species, varieties and forms, the most promising for introduction into the practice of green building and further use in breeding.

In the botanical garden of Crimean Federal V. I. Vernadsky University studied 38 new and new tall varieties of iris hybrid on decorative and economic-valuable traits. To determine the decorative and economic-biological qualities of new and new varieties, the commonly used methods of variety evaluation and sorting of ornamental plants were used, as well as the scale of the 100-point complex assessment, modified by us. The sum of points scored by varieties when characterizing them for all indicators was used to determine the group of prospects. When assessing varieties for the purpose of forming a perspective assortment and depending on its use in landscaping, the most significant features were: the shape of the flower, the density of the perianth stakes, the strength and height of the peduncle, the productivity and the duration of flowering.

As a result of our comprehensive assessment of new and new varieties of garden bearded irises. The entire assortment studied for perspective use in ornamental floriculture was divided into 3 groups. To the unpromising (less than 65 points) for cultivation in the conditions of the foothill zone of the Crimea are 8 varieties.

18 varieties of medium perspective (65–79 points) are recommended, which we recommend for use in landscaping and floral decoration of this region.

12 highly prospective varieties (80 or more points) from the assortment studied are characterized by a complex of valuable features: bright coloring, original flower shape, abundant and prolonged flowering, high coefficient of vegetative reproduction and comparatively low incidence of diseases and pests.

Based on the assessment of decorative and valuable characteristics of the formed assortment for use in breeding and gardening in the region.

**Keywords:** *Iris hybrida* hort., grade, plant introduction, phenology, reproduction, breed appraisal, collection, promising assortment.

**References**

1. Burlakova I. V., Zykova V. K. *Iris*, 208 (M.: ZAO "Fitton+" 2006).
2. Datsuk E. I., Efimov S. V. Problems of identification and verification of historical iris varieties in the scientific collections, *Scientific notes of Taurida national University V. I. Vernadsky. Series: Biology, chemistry.*, 27 (66), **5**, 38 (2014).
3. Rodionenko G. I. *Iris*, 192 (SPb.: OOO "Diamant", "Agropromizdat", 2002).
4. *Atlas "Autonomous Republic of Crimea"*, 31 (Kyiv – Simferopol, 2003).
5. Kornilova T. C. *Methodology the primary variety to the collection of iris hybrida*, 17 (L.: It VIR. Vavilov 1971).
6. *Methodology state strain testing of crops*, 24 (M.: Kolos, 1968).
7. Bylov V. N. Foundations of breed appraisal ornamental plants, *Introduction and selection of ornamental plants*, 7 (M.: Nauka, 1978).
8. <http://ruiris.ru/page15-1.html>

**УДК 537.622.4+544.163.3-022.54:57**

## **ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УМЕРЕННОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

*Темурьянц Н. А., Туманянц К. Н., Чуюн Е. Н., Ярмолюк Н. С.*

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: timur328@gmail.com*

Эффективность ослабления естественного электромагнитного фона Земли применением ферромагнитного экрана зависит от свойств биологического объекта. При регистрации термочувствительности наземных моллюсков и мышей в тесте «горячая пластика» были выявлены существенные различия в степени выраженности ноцицептивного эффекта животных: у моллюсков она гораздо выше и продолжительнее, чем у мышей. Кроме того, определена сезонная зависимость эффекта. Ферромагнитное экранирование приводит также к угнетению полового поведения крыс, более выраженного у самцов, чем у самок. Степень его снижения у самок зависит от фазы эстрального цикла животного.

**Ключевые слова:** ферромагнитное экранирование, ноцицепция, половое поведение, биологические объекты, моллюски, мыши, крысы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для изучения механизмов реализации солнечно-земных связей перспективны исследования биологической эффективности гипомагнитного поля (ГМП), которое может быть достигнуто как экранированием различными материалами, так компенсацией с помощью колец Гельмгольца. Но если при ферромагнитном (ФМЭ) и электромагнитном экранировании (ЭМЭ) уменьшается статическое магнитное и переменное магнитное поле (ПеМП) любых частотных диапазонов, то кольца Гельмгольца ослабляют только постоянную составляющую магнитного поля (МП) Земли. К сожалению, во многих исследованиях результаты этих двух разных видов воздействий обсуждаются вместе. Например, в последнем обширном обзоре, посвященном биологическим эффектам ГМП, результаты исследования эффектов этих двух разных воздействий и разной продолжительности сведены в одну таблицу [1]. Неслучайно при таком подходе многие авторы отмечают низкую воспроизводимость эффектов ГМП [1]. Причиной невоспроизводимости результатов таких исследований может быть их зависимость не только от параметров воздействующего фактора, но и от свойств биологических объектов, используемых в экспериментах. Анализ результатов проводимых нами многолетних исследований эффектов умеренного ФМЭ позволил бы выделить свойства биологических объектов, которые влияют на результаты экспериментов [2].

Поэтому целью исследования явился анализ многолетних исследований эффективности ГМП, в которых использованы разнообразные животные (моллюски, мыши, белые крысы), с целью выделить зависимость эффективности умеренного ФМЭ от свойств биологических объектов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на беспозвоночных наземных моллюсках *Helix albescens* и позвоночных лабораторных животных (беспородные мыши, белые крысы) с соблюдением принципов биоэтики и Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей, в различные сезоны года (Directive 2010/63/EU, Страсбург, 2010) [3].

Изучение влияния низкоинтенсивных электромагнитных факторов на ноцицепцию проведено на моллюсках *Helix albescens*, широко распространенных на территории Крымского полуострова.

Как наземные [4, 5], так и морские моллюски [6] используются для изучения не только феноменологии, но и механизмов действия различных электромагнитных факторов.

Сбор моллюсков для эксперимента производился в поле, вдали от предприятий, линий электропередач. Моллюсков содержали в стеклянных террариумах при температуре  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ , высокой влажности, продолжительности фаз «свет – темнота» (L:D) 1:23 ч и избытке пищи (морковь, капуста).

В эксперименте использовались половозрелые особи, одинаковые по массе и размерам. До эксперимента моллюски не менее одной недели находились в активном состоянии.

Для определения параметров ноцицепции в экспериментах использовались также лабораторные мыши-самцы весом  $10 \pm 2$  г, полученные из Медицинской академии Крымского федерального университета.

Исследования проводились также на беспородных крысах-самцах и самках массой  $190 \pm 10$  г. Для экспериментов отбирали крыс одинакового возраста, характеризующихся средней двигательной активностью (вертикальная двигательная активность 5–7 усл. ед. – число подъемов на задние лапы, горизонтальная двигательная активность 24–28 усл. ед. – число пересечений квадратов) и низкой эмоциональностью (0–1 усл. ед. – число болюсов и уринаций в тесте «открытое поле»). Такой отбор позволил относительно быстро выделить крыс с одинаковыми конституциональными особенностями [7], одинаково реагирующих на действие различных раздражителей.

У самок делали мазки вагинального содержимого, обрабатывали их согласно общепринятой методике для определения фазы эстрального цикла [8]. После такого исследования были выделены группы крыс, находящиеся в различных фазах эстрального цикла.

Экранирующая камера, использованная в настоящем исследовании, представляла собой комнату размером  $2 \times 3 \times 2$  м, изготовленную из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования  $V_{\text{ДС}}$ , измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для

горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких (от  $2 \times 10^{-4}$  Гц до 0,2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области сверхнизких частот измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – индукционным методом. Внутри камеры для частот выше 170 Гц и в области частот от  $2 \times 10^{-3}$  до 0,2 Гц уровень спектральной плотности магнитного шума ниже  $10 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$ . Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка трех. В области частот от 150 Гц до 100 кГц происходит слабое экранирование, тогда как на частотах больше 1 МГц имело место полное экранирование.

Освещенность внутри и вне камеры, а также внутри ящиков с животными измерялась с помощью люксметра ТКЛ-ПКМ (модель 63). Внутри ящиков освещенность колебалась от 0,1 до 0,2 лк, внутри экранирующей камеры и в лаборатории, где содержались животные контрольной группы, освещенность была такого же уровня, а в лаборатории, в которой проводили тестирование и уборку клеток и террариумов, колебалась от 480 до 500 лк.

О состоянии термонцицептивной чувствительности животных судили по порогу (П) и латентному периоду (ЛП) реакции избегания в тесте «горячая пластинка». Для изучения ноцицепции у моллюсков в нашем исследовании использовалась стеклянная пластинка, на нижнюю поверхность которой с применением метода напыления в вакууме был нанесен проводящий слой из нитрида титана [9], что позволяло при пропускании через него тока легко изменять температуру пластинки.

В экспериментах на мышах использовалась металлическая пластинка, нагреваемая электрическим током до  $45^\circ\text{C}$ . Мышь помещали на пластинку и с помощью секундомера регистрировали латентный период (ЛП) – время, через которое появлялись первые болевые реакции (отдергивание и лизание конечностей) [10]. В этом тесте животному предъявляли по три попытки (через три минуты друг за другом), затем вычисляли среднее арифметическое из трех измерений.

Для реализации поставленной цели было проведено несколько серий экспериментов на моллюсках и мышах. В каждой серии животных делили на две равноценные группы. Животные первой (контрольной) группы находились в стандартных лабораторных условиях. Особей второй группы ежедневно подвергали действию ФМЭ по 23 часа в сутки. Животные контрольной группы находились за пределами камеры в лаборатории в затемненных условиях, второй группы содержались в экранирующей камере. Регистрацию показателей реакции избегания проводили у каждого животного ежедневно на свету до нормализации параметров ноцицепции (21 сутки у моллюсков и 10 суток у мышей). Кроме того, была предпринята попытка определения выраженной зависимости параметров ноцицепции моллюсков от сезона года.

Для оценки влияния ФМЭ на половое поведение крыс использовались клетки с тремя отсеками, разделенными решетчатыми перегородками, позволяющими животным, помещенным в них, осуществлять только визуальный контакт. В течение пяти минут регистрировали число подходов самца (самки), помещенных в

средний отсек, к отсеку, в котором сидела самка (самец), а также время (с) их пребывания около перегородки, а также около перегородки с пустым отсеком.

Отобранных крыс делили на 2 разноценные группы по 10 животных в каждой: контрольные животные и крысы, подвергавшиеся ФМЭ. Крысы обеих выделенных групп были помещены в ящики размером 790×450×390 мм из непрозрачного пластика с вентиляционными отверстиями в крышке и стенках. Обеспечивался свободный доступ животных к стандартному для грызунов корму и воде. Контейнер с животными экспериментальной группы помещался в экранирующую камеру ежедневно с 15<sup>00</sup> до 10<sup>00</sup> ч следующего дня, т. е. они находились в условиях ФМЭ 19 часов в сутки в течение 10 дней. Ящики с животными контрольной группы находились за пределами камеры в той же комнате. Ежедневно в 10<sup>00</sup>–15<sup>00</sup> ч всех животных извлекали из ящиков для тестирования и уборки клеток.

Действие ФМЭ на параметры термонотицепции оценивалось по коэффициенту эффективности (КЭ), учитывающему изменения изучаемых показателей по отношению к данным контрольной группы [11].

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета специализированных программ «MedStat». Вычисляли среднее значение и ошибку среднего ( $\bar{x} \pm S \bar{x}$ ). Сравнение средних величин различных показателей проводили по t-критерию Стьюдента, целесообразность применения которого была показана проверкой полученных данных на закон нормального распределения. Для оценки достоверности различий исследуемых показателей применялся однофакторный дисперсионный анализ. Различия между группами считали значимыми при  $p \leq 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что выраженность изменений параметров ноцицепции у моллюсков при ФМЭ зависит от исходного состояния животных, определяемого сезоном года.

Так, наименее выраженные изменения ноцицепции в условиях слабого ФМЭ отмечены летом и зимой. В эти сезоны  $KЭ_{фмэ}$  снижался менее всего: лишь до  $-9,17 \pm 4,1$  % ( $p < 0,01$ ) на четвертые сутки летом и до  $-7,95 \pm 2,26$  % ( $p < 0,001$ ) на седьмой день зимой против  $-14,90 \pm 2,03$  % ( $p < 0,001$ ) и  $-15,98 \pm 2,76$  % ( $p < 0,001$ ) весной и осенью соответственно, т. е. на двое суток позже, чем в весенний и осенний сезоны. Вместе с тем и II фаза – антиноцицептивная – была выражена гораздо меньше;  $KЭ_{фмэ}$  возрастал летом только до  $5,67 \pm 3,10$  % ( $p < 0,01$ ), а зимой до  $5,85 \pm 2,37$  % ( $p < 0,001$ ), что было почти в 2 раза меньше, чем весной и осенью (рис. 1).

Параметры ноцицепции моллюсков, находившихся в условиях ФМЭ осенью и весной, отличались продолжительностью антиноцицептивной фазы: осенью ее длительность была на трое суток меньше, а  $KЭ_{фмэ}$  был ниже на 11,35 % ( $p < 0,05$ ), чем в весенний сезон.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УМЕРЕННОГО ...

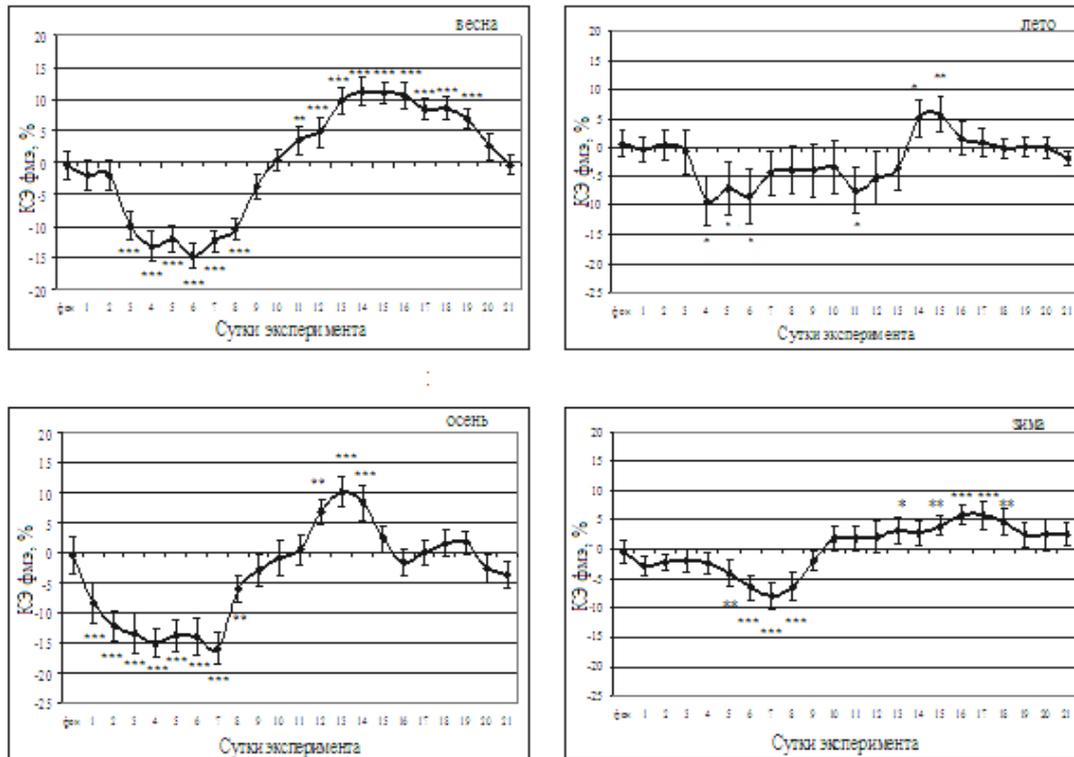


Рис. 1. Динамика ( $\bar{x} \pm S\bar{x}$ ) коэффициентов эффективности (%) ферромагнитного экранирования в различные сезоны года.

Примечание: \* – достоверность различий между данными у интактных моллюсков и животных, подвергнутых экранированию: \* – ( $p < 0,05$ ), \*\* – ( $p < 0,01$ ), \*\*\* – ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, изменения ноцицепции моллюсков при действии ослабленного МП носят фазный характер: первая фаза гипералгезии (первые-девятые сутки) сменяется стадией снижения ноцицепции, т. е. развитием антиноцицептивного эффекта, который достигает максимума на 13–17 сутки, а затем снижается до исходного уровня. Зимой эти изменения выражены меньше, чем в другие сезоны года. Так, стадия гипералгезии была выражена на 15,4 % меньше, чем летом, на 87,5 %, чем весной, и на 90,3 % меньше, чем осенью. Антиноцицептивный эффект, развивающийся при экранировании в весенний и осенний сезоны, превышал таковой зимнего на 94,5 и 72,4 % соответственно, однако, летом зарегистрирована менее выраженная гипоалгезия, на 3 %, чем зимой.

Полученные нами данные об изменении ноцицепции в условиях ФМЭ обнаружены и в исследованиях других авторов. Впервые DeI Seppia et al. (2000) [12] обнаружили, что кратковременное ЭМЭ (один-три часа), достигаемое помещением мышей в  $\mu$ -бокс (коэффициент экранирования по статическому полю – около сотни), снижает стрессиндуцированную анальгезию. Эти эксперименты были воспроизведены E. Choleris et al. (2002) [13] при использовании экранирования не

только  $\mu$ -металлом, но и другими материалами. Ими показано, что изменения ноцицепции при ЭМЭ, достигаемое  $\mu$ -металлом, является хорошо воспроизводимым феноменом.

Подобные трехфазные изменения ноцицепции были нами обнаружены и у мышей при их пребывании в условиях ФМЭ, однако все стадии развивались в более короткие сроки, чем у моллюсков: увеличение чувствительности к термостимуляции, максимально выраженное на вторые сутки эксперимента ( $KЭ = -19,37\%$ ), сменялось развитием антиноцицептивного эффекта ФМЭ, достигая пика на седьмые сутки ( $KЭ = 25,08\%$ ), и далее стабилизацией изучаемых параметров на уровне исходных данных уже на 10 день наблюдения.

Следует отметить, что изменения ноцицепции при экранировании моллюсков не только развиваются более медленно, чем у мышей, но и гораздо менее выражены.

Результаты проведенного нами исследования, свидетельствующие о развитии трехфазных изменений ноцицептивной чувствительности моллюсков в условиях многодневного умеренного экранирования, согласуются с данными, полученными другими исследователями при более значительном ослаблении как постоянного, так и ПемП электромагнитным экраном. Однако при слабом экранировании продолжительность выделенных фаз изменения ноцицепции гораздо больше.

Таким образом, чувствительность животных к ФМЭ различна: у моллюсков она гораздо выше, чем у мышей, и у моллюсков изменения ноцицепции в условиях ФМЭ зависит от сезона года: наиболее ярко оно проявляется в весенний и осенний периоды.

Исследование полового поведения крыс в условиях ФМЭ выявило его зависимость от пола животных.

Уже после первых суток пребывания крыс в условиях ослабленного геомагнитного поля Земли отмечается значительное снижение времени пребывания самца у перегородки с отсеком, в котором сидела самка, а также числа подходов к ней. Наиболее выражено падение этих показателей на первые-вторые сутки эксперимента, когда время пребывания самца у перегородки с самкой снизилось до 42 и 33 % относительно данных интактных животных. На третьи – восьмые сутки эксперимента отмечается менее выраженное уменьшение этих показателей – на 30–40 % относительно данных контрольной группы крыс. В последующие сроки наблюдений отмечено усиление эффекта экранирования (рис. 2).

У самок контрольной группы уровень исследованных показателей в различные фазы эстрального цикла различается. Наименьшие значения количества их подходов к перегородке, а также длительность пребывания около нее регистрировались в фазу диэструса, максимальные – во время проэструса. Различия этих показателей в обозначенные фазы цикла достигали 30 % ( $p < 0,01$ ).

У самок, находившихся в условиях ФМЭ, также регистрировалось снижение длительности их пребывания у перегородки с отсеком, в котором сидел самец, а также уменьшение числа подходов к ней. Степень снижения этих показателей зависела от фазы эстрального цикла и продолжительности ферромагнитной депривации. Наиболее значительно исследованные показатели снижались у крыс,

находившихся в фазе диэструса – на 28,5 % и 12,1 % соответственно относительно данных контрольной группы ( $p \leq 0,01$ ) на четвертые сутки эксперимента. В дальнейшие сроки наблюдения оба исследованных показателя несколько возрастали, но не достигали исходного уровня. На 10 сутки, так же, как и у самцов, имело место усиление эффекта экранирования.

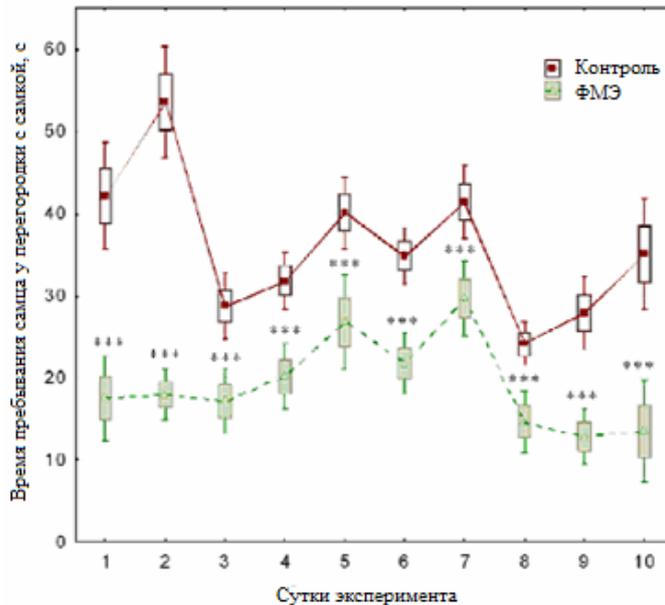


Рис. 2. Динамика полового поведения интактных крыс-самцов, а также животных, подвергшихся ферромагнитному экранированию.

*Примечание:* \* – достоверные отличия данных при \*\*\* –  $p < 0,001$  относительно контроля.

Наименее выражены изменения полового поведения при ФМЭ у самок, находящихся в фазе проэструса. У этих животных зарегистрировано снижение длительности пребывания у перегородки на 15,1 % и количества подходов к ней только на 6,5 % ( $p \leq 0,01$ ). У животных этой подгруппы не обнаружено четкой закономерности в динамике исследованных показателей.

Таким образом, ФМЭ приводило к угнетению полового поведения крыс, более выраженному у самцов, чем у самок. Степень его снижения у самок зависит от фазы эстрального цикла животного: оно наиболее выражено у крыс, находящихся в фазе диэструса, наименее – в фазе проэструса. Наиболее выражен эффект экранирования на половое поведение на четвертые сутки.

Проведенными нами исследования существенно дополняют имеющиеся литературные сведения о зависимости биологической эффективности низкоинтенсивных электромагнитных факторов от свойств и состояния биологического объекта.

Так, было экспериментально доказано, что воздействие ПеМП в дневное время [14], а также в начале темновой фазы [15] не оказывает влияния на синтез мелатонина в эпифизе, но воздействие поля сверхнизкой частоты в середине и в конце темновой фазы приводит к угнетению синтеза гормона, наиболее ярко выраженное при экспозиции в конце темновой фазы.

Кроме того, имеются данные об изменении эффективности ПеМП в различные сезоны года: она возрастает весной и снижается в зимние месяцы [16]. Эти данные убедительно свидетельствуют об изменении магниточувствительности в течение суток, сезона, что обусловлено циркадианной и сезонной ритмикой функционального состояния организма. Подобная сезонная зависимость эффектов ослабленного геомагнитного поля на параметры термоноцицептивной чувствительности обнаружена и в наших исследованиях.

Таким образом, многочисленные исследования свидетельствуют о том, что биологическая эффективность ФМЭ существенно зависит от индивидуальных особенностей организма и от его исходного функционального состояния.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена зависимость эффективности ослабленного ЭМП Земли, создаваемого ферромагнитным экраном, от свойств биологических объектов. Показана способность ФМЭ вызывать однотипные изменения ноцицепции у моллюсков и мышей, однако различные по степени выраженности и продолжительности этих изменений, а также приводить к угнетению половой поведения крыс в засисмости от пола животного в условиях ферромагнитной депривации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-04-06054.*

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

### Список литературы

1. Binhi V. N. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories / V. N. Binhi, F. S. Prato // PLoS One. – 2017. – Vol. 12, Is. 6. – P. 1–51.
2. Эффекты слабых электромагнитных воздействий у беспозвоночных животных (регенерация планарий, ноцицепция моллюсков) / Н. А. Темурьянц, Е. Н. Чуян, А. С. Костюк [и др.] – Симферополь: ДИАЙПИ, 2012. – 303 с.
3. Европейская Конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях – Страсбург, 18 марта 1986 г., глава III, статья 6.
4. Prato F. S. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents / F. S. Prato, M. Kavaliers, J. J. L. Carson // Bioelectromagnetic. – 1996. – Vol. 17. – P. 123–130.

5. Prato F. S. Light-dependent and -independent behavioural effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields in a land snail are consistent with a parametric resonance mechanism (PRM) / F. S. Prato, M. Kavaliers, A. P. Cullen [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 1997. – Vol. 18. – P. 284–291.
6. Lohmann K. J. Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk / K. J. Lohmann, A. O. D. Willows // *Science*. – 1987. – Vol. 235. – P. 331–334.
7. Маркель А. Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте «открытое поле» / А. Л. Маркель // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. – 1981. – Т. 31, № 2. – С. 301–307.
8. Котельников А. В. Характеристика эстрального цикла белых крыс на разных этапах онтогенеза при введении витамина Е / А. В. Котельников, С. В. Котельникова // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2005. – № 3 (26). – С. 215–218.
9. Темур'янци Н. А., Вишневський В. Г., Костюк О. С., Макеев В. Б. Патент Україна №48094, Бюл. №5. 2010.
10. Василенко А. М. Корреляция болевой чувствительности и гуморального иммунного ответа у мышей при термораздражении / А. М. Василенко, О. Г. Яновский, О. В. Коптелов // *Бюлл. экспер. мед.* – 1995. – Т. 4. – С. 405–408.
11. Prato F. S. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions / F. S. Prato, M. Kavaliers, A. W. Thomas // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – Vol. 21. – P. 287–301.
12. Del Seppia C. Exposure to a hypogeomagnetic field or to oscillating magnetic fields similarly reduce stress-induced analgesia in C57 male mice / C. Del Seppia, P. Luschi, S. Ghione [et al.] // *Life Sci*. – 2000. – Vol. 66, Is.14. – P. 1299–1306.
13. Choleris E. Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice / E. Choleris, Seppia Del, A. W. Thomas [et al.] // *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*. – 2002. – Vol. 269. – P. 193–201.
14. Welker H. A. Effects of an artificial magnetic field on the serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland / H. A. Welker, P. Semm, R. P. Willing [et al.] // *Exp. Brain Res*. – 1983. – Vol. 50. – P. 426–432.
15. Yaga K. Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod / K. Yaga, R. J. Reiter, L. C. Manchester [et al.] // *Brain Res. Bull.* – 1993. – Vol. 30. – P. 153–156.
16. Макеев В. Б. Экспериментальное исследование физиологического действия ЭМП инфранизкой частоты: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук / В. Б. Макеев. – Симферополь, 1979. – 25 с.

## DEPENDENCE OF THE EFFECTIVENESS OF THE MODERATE FERROMAGNETIC SCREENING ON THE BIOLOGICAL OBJECTS CHARACTERISTICS

*Temuryants N. A., Tumanyants K. N., Chuyan E. N., Yarmolyuk N. S.*

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: timur328@gmail.com*

For the studying of the mechanisms of the implementation of the connections between the Sun and the Earth, studies of the biological efficiency of hypo magnetic field (HMF) have a great potential; it can be achieved both by the screening be different materials and compensation through the Helmholtz rings. But if during the ferromagnetic screening (FMS) and electromagnetic screening, the static magnetic field and the alternating magnetic field of various frequency ranges decrease, the Helmholtz rings reduce only the static magnetic field of the Earth. Unfortunately, in many studies, the

results of these two distinct kinds of influence are discussed together. For example, in the last comprehensive review devoted to the biological effects of HMF, the results of these two different influences of different lengths have been combined into one table [1]. It is not a coincidence that many authors notice the low reproducibility of the HMF effects [1]. The reason for the irreproducibility of the results of these kinds of studies might be their dependence on not only the measures of influencing factor, but also the characteristics of the biological objects used in the experiment. The analysis of the results of the multiyear study of the effects of the moderate FMS that we conducted allowed us to distinguish the characteristics of biological objects that influence the results of the experiments [2].

It was discovered that different animals have different sensitivity to FMS. The level of sensitivity of Mollusca revealed was higher than that of mice and rats. Thus, all animals develop 3-phase changes in nociception, but all the stages of these changes among mice are developed faster and they are of less obvious.

The animals are the most sensitive to FMS during the stage of fetal development.

The sensitivity to FMS depends on a season. Mollusca have the most distinct changes nociception under the influence of FMS in spring and autumn. Anti-nociceptive effect of FMS during these seasons is higher by 94.5 % and 72.4 % respectively than the one during the period of winter. However, in summer, the analgesia registered is 3 % less distinct than it is in winter.

The efficiency of FMS depends on the animals' sex. FMS lead to the oppression of rats' sexual behaviour that was studied in the test "barrier", that is more distinct among males. The level of its reduction among females depends on the phase of the estrous cycle of an animal. Its most significant reduction was fixed among females that were at the diestrus stage; the least reduction was observed at the stage of proestrus.

The dependencies of the biological influence of the moderate FMS that we discovered coincide with the data revealed by the other authors who study these patterns under the influence of electromagnetic factors of other measures.

**Keywords:** ferromagnetic shielding, nociception, sexual behavior, biological objects, mollusks, mice, rats.

## References

1. Binhi V. N., Prato F.S. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories, *PLoS One.*, 12, 6, 1 (2017).
2. Temuryants N.A., Chuyan E.N., Kostyuk A.S. [et al.] *The Effects of the Weak Electromagnetic Influences among Invertebrate Animals (The Regeneration of Planarian, The Nociception of Mollusca)*, 303 (Simferopol: DIAIPI., 2012).
3. *European Convention for the Protection of Vertebrates Used for Experiments or for Other Scientific Purposes*, Strasbourg, 18 March 1986, Chapter III, Article 6.
4. Prato F. S., Kavaliers M., Carson J. J. L. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents, *Bioelectromagnetic*, 17, 123 (1996).
5. Prato F. S., Kavaliers M., Cullen A. P. [et al.] Light-dependent and -independent behavioural effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields in a land snail are consistent with a parametric resonance mechanism (PRM), *Bioelectromagnetics*, 18, 284 (1997).
6. Lohmann K. J., Willows A. O. D. Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk, *Science*, 235, 331 (1987).

7. Markel A. L. To the assessment of the main characteristics of the behavior of rats in the "open field" test, *Journal of Higher Nervous Activity I. P. Pavlova*, 31, **2**, 301 (1981).
8. Kotelnikov A. V., Kotelnikova S. V. Characterization of the estrous cycle of white rats at different stages of ontogenesis with the introduction of vitamin E, *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, **3 (26)**, 215 (2005).
9. Temur'yants N. A., Vishnevsky V. G., Kostyuk O. S., Mak'yev V. B. Patent Ukraine №48094, Bul. №5. 2010.
10. Vasilenko A. M., Yanovsky O. G., Koptelev O. V. Correlation of pain sensitivity and humoral immune response in mice with thermo-irritation, *Bull. expert. Honey*, **4**, 405 (1995).
11. Prato F. S., Kavaliers M., Thomas A. W. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions, *Bioelectromagnetics*, **21**, 287 (2000).
12. Del Seppia C., Luschi P., Ghione S. [et al.] Exposure to a hypogeomagnetic field or to oscillating magnetic fields similarly reduce stress-induced analgesia in C57 male mice, *Life Sci.*, 66, **14**, 1299 (2000).
13. Choleris E., Del Seppia, Thomas A. W. [et al.] Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice, *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*, **269**, 193 (2002).
14. Welker H. A., Semm P., Willing R. P. [et al.] Effects of an artificial magnetic field on the serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland, *Exp. Brain Res.*, **50**, 426 (1983).
15. Yaga K., Reiter R. J., Manchester L. C. [et al.] Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod, *Brain Res. Bull.*, **30**, 153 (1993).
16. Makeev V. B. *Experimental study of the physiological effect of EMF of infralow frequency: author's abstract. diss. for the academic degree of Cand. Biol. Sciences*, 25 (Simferopol, 1979).

**УДК 591.473.3: 577.112.385**

## **ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО АРГИНИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ КРЫС**

*Труш В. В.<sup>1</sup>, Соболев В. И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк, Украина*

<sup>2</sup>*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия*  
*E-mail: v.sobolev@mail.ru*

В исследованиях на белых крысах изучали эффекты длительно вводимого (на протяжении от 10 до 60 дней) аргинина (Арг) в фармакологической дозе (100 мг/кг) на функциональное состояние передней большеберцовой мышцы. Установлено, что уже спустя первые 10 дней введения Арг наблюдалось увеличение в сравнении с контролем скорости развития тетанического сокращения (на 48 %), удлинение периодов максимальной (на 38 %) и субмаксимальной (на 39 %) работоспособности мышцы, а также повышение ее устойчивости к утомлению. Спустя 30–60 дней введения Арг отмечалось к тому же увеличение в сравнении с контролем массы мышцы (на 13–29 %), исходной амплитуды М-ответов (на 54–59 %) и одиночных сокращений (на 25–29 %) на фоне укорочения латентного периода одиночных сокращений (на 16–18 %), повышение амплитуды тетанического сокращения (на 25–31 %), существенное увеличение скорости его развития (на 134–133 %) и продолжительности периодов максимальной (на 85–100 %) и субмаксимальной (на 72–76 %) работоспособности мышцы.

**Ключевые слова:** скелетная мышца, аргинин.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время появляются сведения относительно важной роли системы «аргинин – оксид азота» в регуляции тканевого метаболизма [1], биосинтеза цитоскелетных и сократительных белков [2–5], поддержании оптимального баланса прооксидантных и антиоксидантных процессов [6–8], что указывает на ее значимость в регуляции метаболических процессов в норме и патологии. В частности известно, что без нормального клеточного метаболизма NO невозможно поддержание оптимального состояния здоровья организма и его адаптация к различным факторам среды, в том числе к физическим нагрузкам [9, 10].

Экспериментально доказана способность аргинина повышать мышечный кровоток [11] и толерантность к физической нагрузке [12], стимулировать ангиогенез в ишемизированных скелетных мышцах [13], усиливать энергетический обмен в мышечных волокнах, регулировать содержание глюкозы в крови во время выполнения мышечных нагрузок и уменьшать молочнокислый ацидоз [14], ослаблять окислительную модификацию мышечных белков [15], понижать активность лизосомальных ферментов и стабилизировать мембраны лизосом в

мышечных волокнах [2], понижать активность кальций-зависимых протеаз кальпаинов и тем самым защищать скелетные мышечные волокна от дистрофических изменений [16], замедлять атрофию скелетных мышц в условиях ее разгрузки вследствие предотвращения ослабления экспрессии миозина I типа [3]. Наконец, рядом исследователей [16, 17] доказано участие системы «аргинин – оксид азота» в регуляции функциональных отравлений мышечных волокон в момент их активности и восстановительном периоде.

Вместе с тем положительный эффект аргинина и его посредника NO на сократительные способности скелетных мышц носит дискуссионный характер [5, 18], что, вероятнее всего, связано с принципиально разными эффектами низких и высоких доз аргинина и, соответственно, NO. Так, рядом авторов установлено, что влияние NO на отдельные процессы в различных тканях неоднозначно и разнонаправлено [9], а его эффекты зависят от концентрации в клетках, наличия кислорода, метаболитов оксидантного стресса и антиоксидантов, которые могут изменять его количество, сигнальную функцию и физиологическую активность [9, 19]. Определенную роль в характере влияния аргинина на скелетную мускулатуру, по всей видимости, играет и длительность его применения, а также исходное функциональное состояние скелетных мышц.

*Целью настоящей работы* явилось изучение эффектов длительно вводимого аргинина на функциональное состояние скелетной мышцы смешанного типа с преобладанием быстрых волокон (передней большеберцовой).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все эксперименты выполнены в соответствии с «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств» [20]. Исследования проводились на 40 половозрелых крысах-самках 4–5-ти месячного возраста с исходной массой тела 190–210 г. Животные были изначально случайным образом разделены на 2 группы: контрольную (интактная, не подвергались никаким воздействиям, n=10, К-группа) и опытную (n=30), подвергавшуюся ежедневному парентеральному введению аргинина (торговая марка «Кардиоаргинин», «Здоровье», Украина) в дозе, адекватной терапевтической для человека – 100 мг/кг (подкожно), на протяжении 10, 30 и 60 дней. Таким образом, животные опытной группы были в последующем разделены на 3 подгруппы (n=10 в каждой), получившие разное количество инъекций аргинина (Arg): 10 (группа 10Arg), 30 (группа 30Arg) и 60 (группа 60Arg).

По окончании сроков введения Arg на наркотизированных животных (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутривенно) проводили острый опыт, в ходе которого изучали электрофизиологические и эргометрические параметры передней большеберцовой мышцы с помощью экспериментальной установки, включающей 3 канала: *канал электростимулятора* (использовался для электрического раздражения малоберцового нерва), *электромиографический* (предназначался для регистрации М-ответов мышцы) и *эргометрический* (служил для измерения высоты, на которую поднимается груз во время сокращения мышцы с грузом). *Канал электростимулятора* представлен собственно электростимулятором (построен на основе функционального генератора ICL8038CCDP), оптронной гальванической

развязкой и биполярными игольчатыми стальными электродами с межэлектродным расстоянием 1 мм. *Электромиографический канал* представлен отводящими биполярными игольчатыми стальными электродами (с межэлектродным расстоянием 1 мм) и электромиографическим биоусилителем (построен на основе измерительного усилителя INA118). *Эргометрический канал* включал потенциометрический датчик ПТП-1 с усилителем. Все каналы были связаны с регистрирующим устройством – запоминающим цифровым осциллографом Tektronix (TDS2004C).

*Ход опыта был следующим.* У наркотизированного животного в области бедра препаровали малоберцовый нерв и на расстоянии 1 см проксимальнее коленного сустава подводили под него раздражающие электроды. Стопу задней лапки животного крепили зажимом, на уровне большого пальца затягивали лигатуру, соединенную с потенциометрическим датчиком и в среднюю часть передней большеберцовой мышцы (*m. tibialis anterior*) вводили отводящие игольчатые электроды.

Вначале регистрировали одиночный М-ответ мышцы, индуцированный путем раздражения малоберцового нерва одиночными сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, частота – 0,2 имп/с, сила тока – 500 мкА). На основании записей одиночных М-ответов мышцы определяли их латентный период, амплитуду и длительность.

Затем путем плавного (в течение 4 с) увеличения силы электрического раздражения от подпороговой до сверхпороговой (от 0,01 до 2 В) при частоте 10 имп/с записывали серию из сорока М-ответов мышцы. На основании процентного изменения амплитуды максимального М-ответа относительно амплитуды минимального определяли приблизительное количество активируемых двигательных единиц мышцы (методика V. Galea [21]).

После этого, раздражая малоберцовый нерв с частотой 4 имп/с сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, сила тока – 500 мкА), регистрировали в течение 5 с серию одиночных сокращений мышцы с внешней нагрузкой 20 г. На основании полученных записей определяли некоторые параметры одиночного сокращения мышцы: амплитуду, латентный период, длительность фаз укорочения и расслабления.

Затем регистрировали кривую тетанического сокращения мышцы в момент выполнения утомляющей работы в режиме гладкого тетануса с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного расслабления на фоне продолжающейся электрической стимуляции. Тетаническое сокращение мышцы индуцировали путем раздражения электрическим током малоберцового нерва с частотой 70 имп/с (длительность импульсов – 0,5 мс, сила тока – 1000 мкА). На основании полученных записей определяли амплитуду тетанического сокращения, скорость его развития, продолжительность удержания амплитуды сокращения на максимальном уровне (период максимальной работоспособности) и до момента снижения на 50 % относительно максимальной (период субмаксимальной работоспособности).

После выполнения мышцей утомляющей работы вновь регистрировали серию одиночных сокращений мышцы при раздражении малоберцового нерва с частотой 4 имп/с, серию М-ответов при раздражении малоберцового нерва стимулами нарастающей амплитуды (от 0,01 до 2 В) и одиночный М-ответ мышцы при

раздражении малоберцового нерва с частотой 0,2 имп/с. На основании изменения параметров М-ответа и одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы относительно соответствующих исходных значений судили об утомляемости нервно-мышечного аппарата у животных разных групп.

По окончании острого опыта в условиях глубокого наркоза проводили эвтаназию животных путем введения летальной дозы (300 мг/кг) тиопентала натрия.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием t-критерия Стьюдента, предварительно убедившись в том, что распределение значений в исследуемых вариационных рядах близко к нормальному (W-тест Шапиро – Уилка, Statistica, 7.0), и F-статистики на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез. Значения  $p < 0,05$  рассматривали как статистически достоверные. Исследуемые параметры выражали в виде «среднее  $\pm$  стандартная ошибка».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Влияние длительного введения аргинина на электрофизиологические параметры мышцы.** Длительное введение Арг (на протяжении 30–60 дней) приводило к значимому увеличению амплитуды М-ответов (на 54–60 % относительно контроля,  $p < 0,05$ , табл. 1, рис. 1). Наблюдаемое увеличение амплитуды М-ответов на фоне нормальной длительности у крыс 30Арг- и 60Арг-групп может быть связано как с повышением возбудимости и степени синхронизации возбуждения в мышце, так и с увеличением диаметра мышечных волокон [22] вследствие более выраженных анаболических процессов в них и ускоренного роста по сравнению с контролем под влиянием Арг.

Таблица 1

**Средние значения ( $\bar{X} \pm m$ ) некоторых параметров М-ответа передней большеберцовой мышцы крыс контрольной группы и животных, получавших аргинин на протяжении 10–60 дней**

Группа животных	Параметры М-ответа					
	Латентный период, мс		Амплитуда, мВ		Длительность, мс	
	исходный	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы
Контроль	1,2 $\pm$ 0,05	1,4 $\pm$ 0,08	2,9 $\pm$ 0,33	1,8 $\pm$ 0,14 (-38 $\pm$ 6,3•)	5,9 $\pm$ 0,41	7,8 $\pm$ 0,69 (+32 $\pm$ 3,2•)
10 Арг	1,3 $\pm$ 0,06	1,4 $\pm$ 0,09	3,1 $\pm$ 0,43	3,0 $\pm$ 0,40	6,5 $\pm$ 0,57	7,2 $\pm$ 0,78
30 Арг	1,3 $\pm$ 0,07	1,4 $\pm$ 0,08	4,4 $\pm$ 0,34 [+54*]	3,9 $\pm$ 0,30 [+116*]	7,1 $\pm$ 0,54	9,1 $\pm$ 0,92
60 Арг	1,2 $\pm$ 0,03	1,4 $\pm$ 0,08	4,6 $\pm$ 0,41 [+59*]	3,9 $\pm$ 0,34 [+120*]	6,8 $\pm$ 0,57	8,1 $\pm$ 0,85

*Примечание:* \* – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно контрольной группы (в %,  $P < 0,05$ ); • – в круглых скобках указана статистически значимая разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы (в %,  $P < 0,05$ ).

Наряду с увеличением исходной амплитуды М-ответов у крыс Арг-группы наблюдалась более высокая устойчивость мышцы к утомлению. В пользу данного заключения свидетельствует отсутствие типичного для контроля снижения амплитуды М-ответов и их удлинения после выполнения утомляющей работы у крыс 10Арг-, 30Арг- и 60Арг-групп (см. табл. 1). Более высокая устойчивость мышцы животных Арг-группы к утомлению может быть обусловлена способностью аргинина повышать мышечный кровоток, регулировать содержание глюкозы в крови во время выполнения мышечных нагрузок, усилить энергетический обмен в мышечных волокнах и уменьшать молочнокислый ацидоз [11].

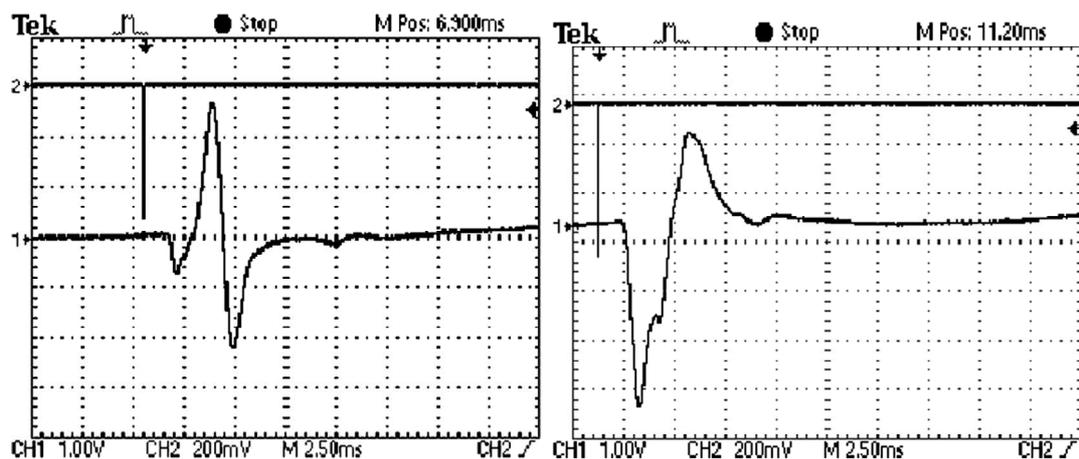


Рис. 1. Образцы записей одиночных М-ответов контрольного животного (А) и крысы, получавшей аргинин на протяжении 30 дней (Г).

Обозначения: по каналу 1 (CH1) показана запись М-ответа, каналу 2 (CH2) - отметка времени начала раздражения.

**Влияние длительного введения аргинина на параметры одиночного сокращения мышцы.** Длительное введение Арг в целом положительно сказалось на сократительных и временных параметрах одиночного сокращения мышцы, а также обусловило повышение ее устойчивости к утомлению. Так, уже спустя первые 10 дней введения аргинина (группа 10Арг) наблюдается отсутствие значимого уменьшения амплитуды одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы, типичное для контрольных животных, в связи с чем фаза укорочения после утомляющей работы несколько превышает соответствующее контрольное значение (см. табл. 2). Кроме того, количество активируемых двигательных единиц мышцы у животных 10Арг-группы после утомляющей работы значимо не отличается от исходного значения, тогда как у контроля уменьшается (см. табл. 2). Оба эти факта указывают в пользу повышения устойчивости мышцы к утомлению под влиянием Арг.

По мере дальнейшего введения Арг в организм у животных 30Арг-группы наряду с повышенной устойчивостью мышцы к утомлению наблюдается увеличение относительно контроля ее массы (на 12,8 %,  $p < 0,05$ ), амплитуды

одиночного сокращения (на 25,3 %,  $p < 0,05$ ) и значимое укорочение его латентного периода (на 16,0 %,  $p < 0,05$ , см. табл. 2, образцы записей одиночных сокращений мышцы приведены на рис. 2). Кроме того у крыс 30Арг-группы после выполнения утомляющей работы латентный период не претерпевает значимых изменений относительно исходного уровня, тогда как у контроля он удлиняется; как следствие латентный период сокращения мышцы животных 30Арг-группы после утомления оказывается значимо короче соответствующего контрольного значения (на 34,8 %,  $p < 0,05$ , см. табл. 2).

Отмеченные изменения сохраняются и спустя 2 месяца после введения Арг (у животных 60Арг-группы, см. табл. 2) и свидетельствуют в пользу не только повышенной устойчивости мышцы к утомлению, но и возможного увеличения степени синхронизации возбуждения и сокращения мышечных волокон, а также скорости и эффективности электромеханического сопряжения в них.

Таблица 2

**Средние значения ( $\bar{X} \pm m$ ) массы передней большеберцовой мышцы, количества активируемых ее двигательных единиц и параметров одиночного сокращения (с внешней нагрузкой 20 г) контрольных животных и крыс, получавших аргинин на протяжении от 10 до 60 дней**

Исследуемый параметр	Группа животных							
	К-группа (n=10)		10Арг (n=10)		30Арг (n=10)		60Арг (n=10)	
	исход-ный	после утомляющей работы	исход-ный	после утомляющей работы	исход-ный	после утомляющей работы	исход-ный	после утомляющей работы
Масса мышцы, мг	402,8±9,34		399,7±8,93		454,3±7,79 [+13*]		520,5±9,77 [+29*]	
Количество активируемых двигательных единиц мышцы	14±1,0	10±0,9 (-26±2,0●)	15±0,3	14±1,0 [+31*]	16±1,2	15±1,3 [+40*]	17±1,6	16±1,3 [+56*]
Амплитуда укорочения, мм	3,0±0,19	2,3±0,20 (-23±2,2●)	3,6±0,32	3,3±0,35 [+42*]	3,8±0,26 [+25*]	3,4±0,19 [+46*]	3,9±0,30 [+29*]	3,7±0,32 [+63*]
Латентный период сокращения, мс	11,2±0,57	16,1±0,83 (+44±7,5●)	11,4±0,56	15,1±0,94 (+32±6,1●)	9,4±0,37 [-16*]	10,5±0,59 [-35*]	9,2±0,33 [-18*]	10,5±0,69 [-35*]
Фаза укорочения, мс	30,1±1,22	26,0±1,85	34,9±1,93	36,4±2,61 [+40*]	33,4±1,99	34,4±1,99 [+32*]	33,3±1,76	39,6±3,30 [+52*]
Фаза расслабления, мс	55,1±3,08	56,5±3,14	60,0±2,26	61,9±6,52	60,0±2,31	61,4±2,87	63,3±4,20	64,7±3,54

*Примечание:* \* – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно контрольной группы (в %,  $P < 0,05$ ); ● – в круглых скобках указана статистически значимая разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы (в %,  $P < 0,05$ ).

В основе наблюдаемого укорочения латентного периода и повышения амплитуды одиночного сокращения мышцы крыс 30Арг- и 60Арг-групп может лежать способность оксида азота, образующегося из аргинина, облегчать циклические перемещения кальция в мышечных волокнах [23], что обуславливает облегчение сопряжения между возбуждением и сокращением и повышение сократимости мышечных волокон.

Таким образом, длительное введение Арг в животный организм в дозе, адекватной фармакологической для человека, сопровождалось улучшением амплитудных параметров сокращения мышцы, некоторым увеличением ее массы, а также повышением устойчивости к утомлению.

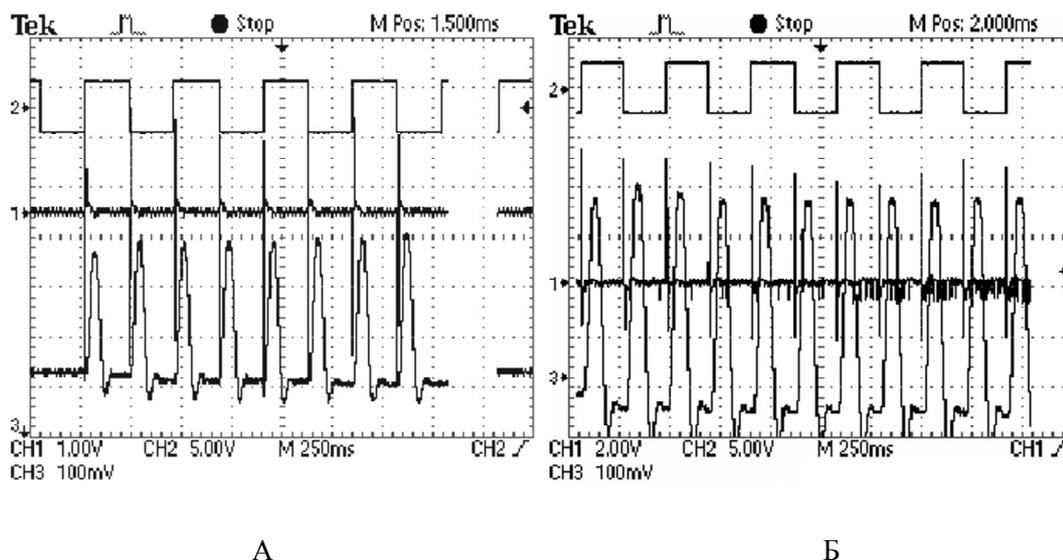


Рис. 2. Образцы записей серии М-ответов (канал 1, CH1) и соответствующих им одиночных сокращений (канал 3, CH3) передней большеберцовой мышцы контрольного животного (А) и крысы, получавшей аргинин на протяжении 30 дней (Б).

*Примечание:* по каналу 2 (CH2) показаны трассеры импульсов стимулятора; при записи использовалась схема триггера, когда каждый импульс стимулятора соответствовал моменту начала смены направления кривой записи 2.

Отмеченные позитивные изменения в скелетной мышце под влиянием аргинина могут быть обусловлены его способностью улучшать мышечный кровоток [11], усиливать поглощение глюкозы и СЖК мышечными волокнами [24], субстратно активировать клеточный метаболизм и ослаблять степень молочнокислого ацидоза в работающих мышцах [11], защищать их от оксидативного стресса [14], стимулировать продукцию анаболических гормонов [25], усиливающих синтез белков в мышечных волокнах, стимулировать экспрессию тяжелых цепей миозина I типа, синтез цитоскелетных и сократительных белков в мышечных волокнах [3]. Кроме того, установлено [26], что система «аргинин – оксид азота» вызывает активацию гуанилатциклазы и связанное с этим повышение уровня цГМФ в мышечных волокнах, что обуславливает цГМФ-зависимое фосфорилирование ряда

белков и связанное с этим повышение активности ферментов гликолиза и скорости сокращения скелетных мышц.

**Характер изменения амплитудных и временных параметров тетанического сокращения и работоспособности мышцы в динамике введения в животный организм аргинина.** Уже спустя первые 10 дней введения Арг на фоне неизменной амплитуды тетанического сокращения наблюдалось увеличение скорости его развития (на 48 %,  $p < 0,05$  относительно контроля, см. табл. 3, образцы записей тетанического сокращения мышцы представлены на рис. 3), а также удлинение периодов максимальной и субмаксимальной работоспособности мышцы (на 38 % и 39 % соответственно,  $p < 0,05$  относительно контроля, см. табл. 3).

По мере дальнейшего введения Арг в организм у животных 30Арг-группы, имело место увеличение в сравнении с контролем амплитуды тетанического сокращения (на 25 %,  $p < 0,05$ ) и при этом существенное укорочение периода достижения максимальной амплитуды тетануса (на 44 %,  $p < 0,05$ ), что обусловило выраженное увеличение скорости его развития (на 134 %,  $p < 0,05$ , см. табл. 3).

По мере дальнейшего введения Арг в организм у животных 30Арг-группы, имело место увеличение в сравнении с контролем внешней работы мышцы (на 32 %,  $p < 0,05$ ) и при этом существенное укорочение периода достижения максимальной амплитуды тетанического сокращения (на 44 %,  $p < 0,05$ ), что обусловило выраженное увеличение его мощности (на 134 %,  $p < 0,05$ , см. табл. 3).

**Таблица 3**

**Средние значения ( $\bar{X} \pm m$ ) амплитудных и временных параметров тетанического сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших аргинин на протяжении 10-60 дней, в момент выполнения утомляющей работы**

Группа животных	Амплитуда тетанического сокращения, мм	Время достижения максимальной амплитуды сокращения, с	Скорость развития тетанического сокращения, мм/с	Длительность максимальной работоспособности, с	Длительность периода субмаксимальной работоспособности, с
Контроль	13,6±0,97	0,9±0,14	15,4±0,98	3,7±0,40	9,0±1,19
10 Арг	16,0±1,77	0,7±0,10	22,8±3,02 [+48*]	5,2±0,44 [+38*]	12,5±0,90 [+39*]
30 Арг	17,0±1,00 [+25*]	0,5±0,06 [-44*]	36,0±2,86 [+134*]	6,9±0,66 [+85*]	15,5±1,99 [+72*]
60 Арг	17,9±1,08 [+31*]	0,5±0,04 [-44*]	35,8±5,31 [+133*]	7,5±0,85 [+100*]	15,9±2,60 [+76*]

*Примечание:* \* – в квадратных скобках указана статистически значимая разница показателя относительно контрольной группы (в %,  $P < 0,05$ ).

Кроме того, подобно 10Арг-группе, у животных 30Арг-группы наблюдалось существенное увеличение длительности периодов максимальной и

субмаксимальной работоспособности мышцы (на 85 % и 72 % соответственно в сравнении с контролем,  $p < 0,05$ , см. табл. 3), отражающее повышение ее устойчивости к утомлению. В пользу более высокой устойчивости мышцы крыс 30Арг-группы к утомлению свидетельствует и обсуждаемое нами ранее отсутствие значимого снижения амплитуды и увеличения длительности М-ответов, а также уменьшения амплитуды и удлинения латентного периода одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы в сравнении с исходными значениями.

По окончании 2-х месячного периода введения Арг (у животных 60Арг-группы) отмеченные спустя 30 дней его применения положительные изменения сократительных и временных параметров тетанического сокращения, а также работоспособности мышцы и ее устойчивости к утомлению сохранились (табл. 3).

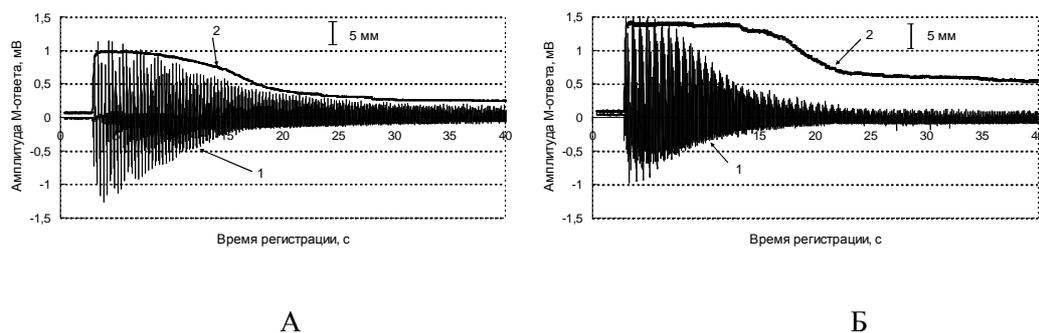


Рис. 3. Образцы записей серии М-ответов (1) и тетанического сокращения (2) контрольной крысы (А) и животного, получавшего на протяжении 30 дней препарат аргинин (Б).

*Примечание:* для построения рисунков использовалась программа Excel и цифровые CSV-файлы-оригиналы.

Таким образом, длительное введение Арг в умеренной фармакологической дозе (100 мг/кг) приводило к улучшению сократительных и временных параметров сокращения мышцы, а также повышению ее работоспособности и устойчивости к утомлению. В этом отношении результаты исследования согласуются с концепцией управляемой коррекции сократительной функции скелетной мышцы путем целенаправленного влияния на ее параметры с помощью биологически активных факторов как фармакологического, так и гормонального характера [27–29]. Вместе с тем, как уже отмечалось ранее, положительное влияние Арг на скелетную мускулатуру признается не всеми авторами [5, 18], что отчасти может быть обусловлено дозависимостью эффектов Арг. По-видимому, применяемая нами доза Арг (100 мг/кг) является умеренной фармакологической и при длительном введении в целом позитивно сказалась на функциональном состоянии исследуемой передней большеберцовой мышцы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Спустя первые 10 дней введения аргинина наблюдались позитивные изменения со стороны функционального состояния передней большеберцовой мышцы: увеличение в сравнении с контролем скорости развития тетанического сокращения (на 48 %), удлинение периодов максимальной (на 38 %) и субмаксимальной (на 39 %) ее работоспособности и повышение устойчивости к утомлению.
2. По мере дальнейшего введения аргинина в организм спустя 30–60 его инъекций наряду с сохранностью имевших место у животных 10Арг-группы позитивных изменений отмечалось увеличение в сравнении с контролем массы мышцы (на 13–29 %), исходной амплитуды М-ответов (на 54–59 %) и одиночных сокращений (на 25–29 %) на фоне укорочения латентного периода одиночных сокращений (на 16–18 %), повышение амплитуды тетанического сокращения (на 25–31 %), существенное увеличение скорости его развития (на 134–133 %) и продолжительности периодов максимальной (на 85–100 %) и субмаксимальной (на 72–76 %) работоспособности.
3. Полученные в модельных экспериментах на животных в условиях *in situ* данные свидетельствуют о способности аргинина в дозе, адекватной терапевтической для человека (100 мг/кг), улучшать функциональные параметры скелетной мышцы.

## Список литературы

1. Алмакаева Л. Г. Аргинин и его применение в медицине и фармации / Л. Г. Алмакаева, Е. В. Литвинова // Ліки України. – 2011. – Т. 5, №1. – С. 23–26.
2. Ильичева А. С. Оценка корректирующего воздействия аргинина и карнитина на активность и распределение катепсинов L, H скелетной и гладкой мышц при выраженной гипергомоцистеинемии / А. С. Ильичева, М. А. Фомина, С. А. Исаков // Пермский медицинский журнал. – 2016. – Т. 33, №2. – С. 82–89.
3. Ломоносова Ю. Н. Защитное действие L-аргинина на белки m. soleus при функциональной разгрузке мышцы / Ю. Н. Ломоносова, Г. Р. Каламкарров, А. Е. Бугрова [и др.] // Биохимия. – 2011. – Т. 76, вып. 5. – С. 701–712.
4. Bryan N. S. Discovery of the nitric oxide signaling pathway and targets for drug development / N. S. Bryan, K. Bian, F. Murad // Frontiers in Bioscience. – 2009. – Vol. 14. – P. 1–18.
5. Evangelista A. M. Direct regulation of striated muscle myosins by nitric oxide and endogenous nitrosothiols / A. M. Evangelista, V. S. Rao, A. R. Filo [et al.] // PLoS One. – 2010. – Vol. 18, 5(6). – P. e11209. doi: 10.1371/journal.pone.0011209.
6. Степанов Ю. М. Аргинин в медицинской практике (обзор литературы) / Ю. М. Степанов, И. Н. Кононов, А. И. Журбина [и др.] // Сучасна гастроентерологія. – 2005. – № 4. – С. 121–127.
7. Perticone F. Prognostic significance of endothelial dysfunction in hypertensive patients / F. Perticone, R. Ceravolo, A. Pujla // Circulation. – 2001. – Vol. 104, №2. – P. 191–196.
8. West S. G. Oral L-arginine improves hemodynamic responses to stress and reduces plasma-homocysteine in hypercholesterolemic men / S. G. West, A. Likos-Krick, P. Brown [et al.] // Journal of Nutrition. – 2005. – Vol. 135, №2. – С. 212–217.
9. Малахов В. А. Проблема оксида азота в неврологии / В. А. Малахов, А. Н. Завгородняя, В. С. Лычко. – Сумы: СумГПУ им. А. С. Макаренко, 2009. – 242 с.
10. Tschakovsky M. E. Nitric oxide and muscle blood flow in exercise / M. E. Tschakovsky, M. J. Joyner // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2008. – Vol. 33, №1. – P 151–160.

11. Bode-Boger S. M. Effect of L-arginine supplementation on NO production in man / S. M. Bode-Boger // *European Journal of Clinical Pharmacology*. – 2006 – Vol. 62, Supplement 13. – P. 91–99.
12. Смуглов Е. П. Клинические аспекты использования L-аргинина в комплексной терапии стабильной ИБС / Е. П. Смуглов., Н. С. Кузнецов, Н. А. Шадчнева [и др.] // *Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины*. – 2015. – Т. 5, № 2 (18). – С. 60–64.
13. Маль Г. С. Влияние L-аргинина на неангиогенез при экспериментальной ишемии конечности / Г. С. Маль, Е. Б. Артюшкова, Д. В. Полянский // *Научный альманах*. – 2015 – № 10-3 (12). – С. 341–343.
14. Boger R. H. The clinical pharmacology of L-Arginine / R. H. Boger, S. M. Bode-Boger // *Annual review of pharmacology and toxicology*. – 2001. – Vol. 41. – P.79–99.
15. Арапова А. И. Окислительная модификация белков сердечной и скелетной мускулатуры крыс под влиянием субстрата синтеза оксида азота / А. И. Арапова, М. А. Фомина // *Вестник Пермского университета*. – 2016. – № 1. – С. 71–79.
16. Ломоносова Ю. Н. Сигнальные эффекты субстратной стимуляции nNOS в скелетной мышце крысы после эксцентрической нагрузки / Ю. Н. Ломоносова, Б. С. Шенкман, Т. Л. Немировская // *Доклады Академии Наук*. – 2013. – Т. 452, № 6. – С. 685–689.
17. Богдановська Н. В. Значення синтезу оксиду азоту в адаптації юнаків і дівчат до фізичних навантажень / Н. В. Богдановська // *Слобожанський науково-спортивний вісник*. – 2012. – № 5 (2). – С. 80–87.
18. Bescos R. Effects of dietary L-arginine intake on cardiorespiratory and metabolic adaptation in athletes / R. Bescos, C. Gonzalez-Haro, P. Pujol [et al.] // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. – 2009. – Vol.19, № 4. – P. 355–365.
19. Гудков Л. Л. Антиоксидантное и прооксидантное действие доноров и метаболитов оксида азота / Л. Л. Гудков, К. Б. Шумаев, Е. И. Каленикова [и др.] // *Биофизика*. – 2007. – Т. 52, № 3. – С. 503–509.
20. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под ред. А. Н. Миронова, Н. Д. Бунатян. – М.: Минздрав РФ, ЗАО «Гриф и К», 2012. – 944 с.
21. Galea V. The number and relative size of motor unites estimated by computer / V. Galea, H. De Bruin, R. Cavaasin, A. J. McComas // *Muscle and Nerve*. – 1991. – Vol. 14. – P. 1123–1130.
22. Гехт Б. М. Теоретическая и клиническая электромиография / Б. М. Гехт – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1990. – 229 с.
23. Parakhonskii A. P. The role of neuronal NO synthase in heart diseases / A. P. Parakhonskii // *Modern high technologies*. – 2010. – № 9. – P 208.
24. Осипенко А. Роль системы оксида азота в процессах адаптации организма к физическим нагрузкам / А. Осипенко // *Наука в олимпийском спорте*. – 2014. – №1. – С. 27–35.
25. Шейбак В. М. Аргинин и иммунная система – возможные механизмы взаимодействия / В. М. Шейбак, А. Ю. Павлюковец // *Вестник ВГМУ*. – 2013. – Т. 12, №1. – С. 6–12.
26. McAllister R. M. Vascular nitric oxide: effects of exercise training in animals / R. M. McAllister, C. Newcomer Sean, M. H. Laughlin // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2008. – Vol. 33, №1. – P. 173–178. doi: 10.1139/H07-146.
27. Труш В. В. Влияние ятрогенного гиперкортицизма, индуцируемого длительным введением дексаметазона, на энергетику мышечного сокращения у белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. – 2016. – Т. 60, № 4. – С. 39–46.
28. Труш В. В. Модуляция таурином стероидной миопатии у белых крыс, индуцированной длительным введением дексаметазона / В. В. Труш, В. И. Соболев // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2017. – № 2. – С. 111–117.
29. Труш В. В. Модуляция таурином стероидной миопатии у белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // *Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины*. – 2017. – Т. 7, № 2. – С. 108–118.

ASSESSMENT OF NATURE OF INFLUENCE OF THE LONG ENTERED  
ARGININE ON FUNCTIONAL CONDITION OF SKELETAL MUSCLE OF  
WHITE RATS

Trush V. V.<sup>1</sup>, Sobolev V. I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Donetsk national university, Donetsk, Ukraine

<sup>2</sup>V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Yalta, Russian Federation

E-mail: v.sobolev@mail.ru

Research objective consisted in the studying of the effects of long entered (from 10 to 60 days) arginine (Arg) in the pharmacological dose (100 mg/kg) on the functional status of a skeletal muscle of the mixed type with prevalence of the fast fibers (*m. tibial anterior*).

**Method.** Experiments performed on sexually mature rats-females (190–210 g) originally divided into 2 groups: control (n=10, C-group) and experimental (n=30), which being exposed to daily administration of an arginine (Kardioarginine, "Zdorov'e", Ukraine) in a dose, adequate therapeutic for the human – 100 mg/kg, throughout 10 (10Arg-group, n=10), 30 (30Arg-group, n=10) and 60 (60Arg-group, n=10) days. On the anesthetized animals (sodium thiopental, 100 mg/kg) with the use of electromyography and myography the some parameters of the functional condition of the forward tibial muscle was studied. The muscle's contraction was induced by the irritation of the fibular nerve by superthreshold electric current.

**Results.** It is determined that already after the first 10 days of Arg-administration the positive changes in the functional status of the researched muscle are watched: the increase in comparison with control of the capacity of titanic contraction (for 48 %), lengthening of the periods of its maximum (for 38 %) and submaximum (for 39%) workability. Moreover, the muscle of the animals of 10Arg-group was characterized by the increased resistance to exhaustion in a favor of what the absence of the decreasing of the amplitude of M-responses and the increase in their duration and also the absence of the decreasing of the amplitude of single contractions and quantity of the activated motive units of the muscle after execution of the tiring work typical for control animals testifies. After 30–60 days of Arg-administration along with the positive changes taking place at the animals of 10Arg-group, the increase in the comparison with control of the muscle's mass (for 13–29 %), the initial amplitude of M-responses (for 54–59 %) and single contractions (for 25–29 %) against the background of truncation of the latent period of single contractions (for 16–18 %), increase in external muscle work in case of titanic contraction (for 32–31 %), essential increase in its capacity (for 134–133 %) and durations of the periods of maximum (for 85–100 %) and submaximum (for 72–76 %) workability is marked besides. All these facts specify in a favor of the increase in a level of synchronization of the excitement and contraction in the muscle, improving of its force characteristics, workability and the resistance to exhaustion under the Arg-influence.

**Conclusion.** The data received in the model experiments on the animals in the conditions of in situ confirm the ability of the Arg in a dose, adequate therapeutic for the human (100 mg/kg), to improve the functional parameters of the skeletal muscle.

**Keywords:** skeletal muscle; arginine.

References

1. Almakaeva L. G., Litvinova E. V., Arginine and its application in medicine and pharmacy, *Liki Ukraini (Medicines of Ukraine)*, **5** (1), 23 (2011) (In Russian).
2. Ilyicheva A. S., Fomina M. A., Isakov S. A., Assessment of correcting arginine and carnitine effects on activity and distribution of skeletal and smooth muscle L, H cathepsins in marked hyperhomocysteinemia, *Perm medical journal*, **33** (2), 82 (2016) (In Russian).
3. Lomonosova Yu. N., Kalamkarov G. R., Bugrova A. E., Shevchenko T. F., Kartashkina N. L., Lysenko E. A., Shvec V. I., Nemirovskaya T. L., Protective action of L-arginine on proteins of m. soleus at functional unloading of a muscle, *Biochemistry*, **76** (5), 701 (2011) (In Russian).
4. Bryan N. S., Bian K., Murad F., Discovery of the nitric oxide signaling pathway and targets for drug development, *Frontiers in Bioscience*, **14**, 1 (2009).
5. Evangelista A. M., Rao A. M., Evangelista V. S., Filo A. R., Direct regulation of striated muscle myosins by nitric oxide and endogenous nitrosothiols, *PLoS One*, **18** (5(6)), e11209 (2010). doi: 10.1371/journal.pone.0011209.
6. Stepanov Yu. M., Kononov I. N., Zhurbina A. I., Filippova A. Yu., Arginine in medical practice (the review), *Suchasna gastroenterologiya (Modern gastroenterology)*, **4**, 121 (2005). (In Russian).
7. Perticone F., Ceravolo R., Pujla A., Prognostic significance of endothelial dysfunction in hypertensive patients, *Circulation*, **104** (2), 191 (2001).
8. West S. G., Likos-Krick A., Brown P., Mariotti F., Oral L-arginine improves hemodynamic responses to stress and reduces plasma-homocysteine in hypercholesterolemic men, *Journal of Nutrition*, **135** (2), 212 (2005).
9. Malahov V. A., Zavgorodnyaya A. N., Lychko V. S. *Problema oksida azota v nevrologii (Nitrogen oxide problem in neurology)*, 242 (Sumy: SumSPU named from A.S. Makarenko, 2009). (In Russian).
10. Tschakovsky M. E., Joyner M. J., Nitric oxide and muscle blood flow in exercise, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **33** (1), 151 (2008).
11. Bode-Boger S. M., Effect of L-arginine supplementation on NO production in man, *European Journal of Clinical Pharmacology*, **62** (Suppl. 13), 91 (2006).
12. Smuglov E. P., Kuznetsov N. S., Shadchneva N. A., Sakhaltuyev A. D., Clinical aspects of L-arginine use in complex management of stable coronary artery disease, *Crimean journal of experimental and clinical medicine*, **5** (2), 60 (2015). (In Russian).
13. Mal' G. S., Artyushkova E. B., Polyansky D. V., Effect of L-arginine on the angiogenesis in the experimental limb ischemia, *Science Almanac*, **10-3** (12), 341 (2015). DOI: 10.17117/na.2015.10.03.341. (In Russian).
14. Boger R. H., Bode-Boger S. M., The clinical pharmacology of L-Arginine, *Annual review of pharmacology and toxicology*, **41**, 79 (2001).
15. Arapova A. I., Fomina M. A., Oxidative modification of proteins in cardiac and skeletal muscles of rats under the influence of the substrate of nitric oxide synthesis, *Bulletin of Perm University*, **1**, **71** (2016). (In Russian).
16. Lomonosova Yu. N., Shenkman B. S., Nemirovskaya T. L., Signal effects of substrate stimulation of nNOS in rat skeletal muscle after eccentric loading, *Doklady Akademii Nauk*, **452** (6), 685 (2013). (In Russian).
17. Bogdanovs'ka N. V., Value of synthesis of nitrogen oxide in adaptation of young men and girls to physical activities, *Slobozhanskij nauchno-sportivnyj vestnik (Slobozhansky scientific and sports bulletin)*, **5** (2), **80** (2012). (In Russian).
18. Bescos R., Gonzalez-Haro C., Pujol P., Effects of dietary L-arginine intake on cardiorespiratory and metabolic adaptation in athletes, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **19** (4), 355 (2009).
19. Gudkov L. L., Shumaev K. B., Kalenikova E. I., Gubkina S. A., Vanin A. F., Ruuge Eh. K., Antioxidant and pro-oxidative action of donors and metabolites of nitrogen oxide, *Biophysics*, **52** (3), 503 (2007). (In Russian).
20. Mironova A. N., Bunatyan N. D. (reds.), *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv* (Guide to carrying out preclinical trials of medicines), 944 (Moscow: Minzdrav RF, ZAO «Grif i K», 2012). (In Russian).

21. Galea V., De Bruin H., Cavasin R., McComas A. J., The number and relative size of motor unites estimated by computer, *Muscle and Nerve*, **14**, 1123 (1991).
22. Geht B. M. *Teoreticheskaya i klinicheskaya elektromiografiya* (Theoretical and clinical electromyography). 229 (Leningrad: Nauka, 1990). (In Russian).
23. Parakhonskii A. P., The role of neuronal NO synthase in heart diseases, *Modern high technologies*, **9**, 208 (2010).
24. Osipenko A. Role of nitrogen oxide system in processes of adaptation of an organism to physical activities, *Nauka v olimpijskom sporte (Science in the Olympic Sport)*, **1**, 27 (2014). (In Russian).
25. Shejbak V. M., Pavlyukovec A. Yu., Arginine and immune system – possible mechanisms of interaction, *Vestnik VGMU (Bulletin of VSMU)*, **12** (1), 6 (2013).
26. McAllister R. M., Newcomer Sean C., Laughlin M. H., Vascular nitric oxide: effects of exercise training in animals, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **33** (1), 173 (2008). doi: 10.1139/H07-146.
27. Trush V. V., Sobolev V. I. Vliyanie yatrogenного giperkortitsizma, indutsiruемого dlitel'nym vvedeniem deksametazona, na energetiku myshechnogo sokrashcheniya u belykh kryss, *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, **60**, **4**, 39 (2016).
28. Trush V. V., Sobolev V. I. Modulyatsiya taurinom steroidnoy miopatii u belykh kryss, indutsirovannoy dlitel'nym vvedeniem deksametazona, *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, **2**, 111 (2017).
29. Trush V. V., Sobolev V. I. Modulyatsiya taurinom steroidnoy miopatii u belykh kryss, *Krymskiy zhurnal eksperimental'noy i klinicheskoy meditsiny*, **7**, **2**, 108 (2017).

**УДК 57.043**

## **ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КРЫС ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОГО СТРЕССА**

*Чуян Е. Н., Заячникова Т. В., Раваева М. Ю., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А.*

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

В работе исследована взаимосвязь поведенческих реакций крыс в болевом (формалиновом) тесте. Данные корреляционного и кластерного анализов свидетельствуют о том, что в механизмах модифицирующего действия гипокинетического стресса на уровень болевой чувствительности в ранние сроки ограничения подвижности (первые – пятые сутки) большое значение имеет восстановление взаимосвязей между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями, а в более поздние сроки (седьмые – девятые сутки) – разобщение и уменьшение корреляционных взаимосвязей между данными поведенческими проявлениями. Модифицирующее действие гипокинетического стресса на уровень болевой чувствительности проявляется в изменении ритмических процессов продолжительностей болевых и неболевых проявлений у животных в микродиапазоне: на ранних сроках ограничения подвижности отмечается корректирующее и синхронизирующее действие гипокинезии, что проявляется в большем сходстве амплитудно-фазовых характеристик продолжительностей поведенческих проявлений с таковыми у животных, подвергнутых ложному действию болевого фактора; в поздние сроки ограничения подвижности происходит развитие десинхроноза, причем в большей степени, чем у крыс, подвергнутых изолированному действию болевого фактора.

**Ключевые слова:** гипокинезия, боль, формалиновый тест, биологические микроритмы, крысы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В наших предыдущих исследованиях показано, что гипокинетический (ГК) стресс изменяет поведенческие реакции у крыс при действии болевых стрессов в «формалиновом» и «уксусном» тестах, как и болевую чувствительность на пороговом уровне в тестах «горячая пластинка» и электростимуляция, что свидетельствует о модифицирующем действии ГК на болевую чувствительность животных вне зависимости от природы болевого раздражителя [1, 2].

Модифицирующий эффект ГК стресса на болевую чувствительность у крыс в экспериментальных болевых тестах зависит от продолжительности ограничения подвижности. При этом изменение болевой чувствительности (уменьшение и увеличение) животных при ГК стрессе может служить критерием перехода эустресса в дистресс [1, 2].

В связи с тем, что изученные поведенческие реакции тесно взаимосвязаны между собой, то представляет определенный интерес проследить изменение взаимосвязи этих показателей в болевом «формалиновом тесте» у животных. Такие взаимосвязи

можно установить путем применения кластерного и корреляционного анализов, что явилось целью настоящего исследования.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Формирование однородных групп животных осуществлялось по уровню двигательной активности и эмоциональности в тесте «открытого поля» [1].

Крыс содержали в условиях вивария при температуре 18 – 20<sup>0</sup>С на стандартном пищевом рационе и в естественных (искусственно созданных) условиях освещения (12 часов темнота: 12 часов свет). Световая фаза начиналась в 7.00 утра. Эксперименты проводились в одно и то же время светлой половины суток (с 9.00 до 11.00 часов), так как у грызунов болевой порог в течение суток варьирует.

Для исследования микроритмики болевой чувствительности животных использовали данные «формалинового теста» (ФТ) – продолжительность болевой и неболевой (двигательная активность и пассивное поведение) поведенческих проявлений за 120 минут наблюдения после инъекции формалина.

Оценка временной организации болевой чувствительности осуществлялась с помощью косинор-анализа. Результаты исследования обрабатывались с использованием корреляционного и кластерного статистических методов.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Дендрограммы кластерного анализа продолжительностей изученных поведенческих проявлений у интактных животных, подвергнутых ложному действию болевого фактора (инъекции физраствора в дорсальную поверхность стопы задней конечности) (Кф), построенные путем иерархического объединения их в кластеры, имели близкие связи и были объединены в общие кластеры (первый кластер – продолжительности реакций боли и грумिंगа, второй – бега и приема пищи, третий – сна) (рис. 1).

Дендрограмма, отражающая данные кластерного анализа поведенческих проявлений у крыс второй группы, подвергавшихся изолированному действию болевого фактора в ФТ, отличалась от таковой у животных контрольной группы: число кластеров не изменилось (3), однако произошли существенные изменения в их структуре: болевая реакция оказалась обособлена в отдельный кластер от неболевых поведенческих феноменов, которые образовали два других плотных кластера. Причем между двумя первыми и третьим кластерами увеличилась длина связи, что свидетельствует о значительной разобщенности неболевых и болевой поведенческих реакций в ФТ крыс этой группы (рис. 1).

При последовательном действии ГК стресса и болевого фактора у животных в первые – пятые сутки ограничения подвижности обнаружено большее сходство дендрограммы кластерного анализа поведенческих проявлений с таковой у крыс контрольной группы, нежели с дендрограммой у животных, также подвергавшихся экспериментальной тонической боли, но без воздействия ГК (рис. 1). При этом показатель продолжительности болевой реакции оказался объединенным в общие кластеры с неболевыми поведенческими проявлениями, как и в дендрограмме

кластерного анализа у крыс контрольной группы, а расстояние между показателями продолжительности болевых и неболевых проявлений уменьшилось по сравнению с дендрограммой у крыс в ФТ без предварительного воздействия ГК, что следует расценивать как уменьшение связи между рассматриваемыми поведенческими реакциями.

Корреляционный анализ подтвердил сделанный вывод, проиллюстрировав распад свойственных интактным животным связей, появление новых связей между показателями продолжительности боли и покоя, бега и сна, а также изменение знака коэффициента корреляции между показателями длительности боли и приема пищи (рис. 2).

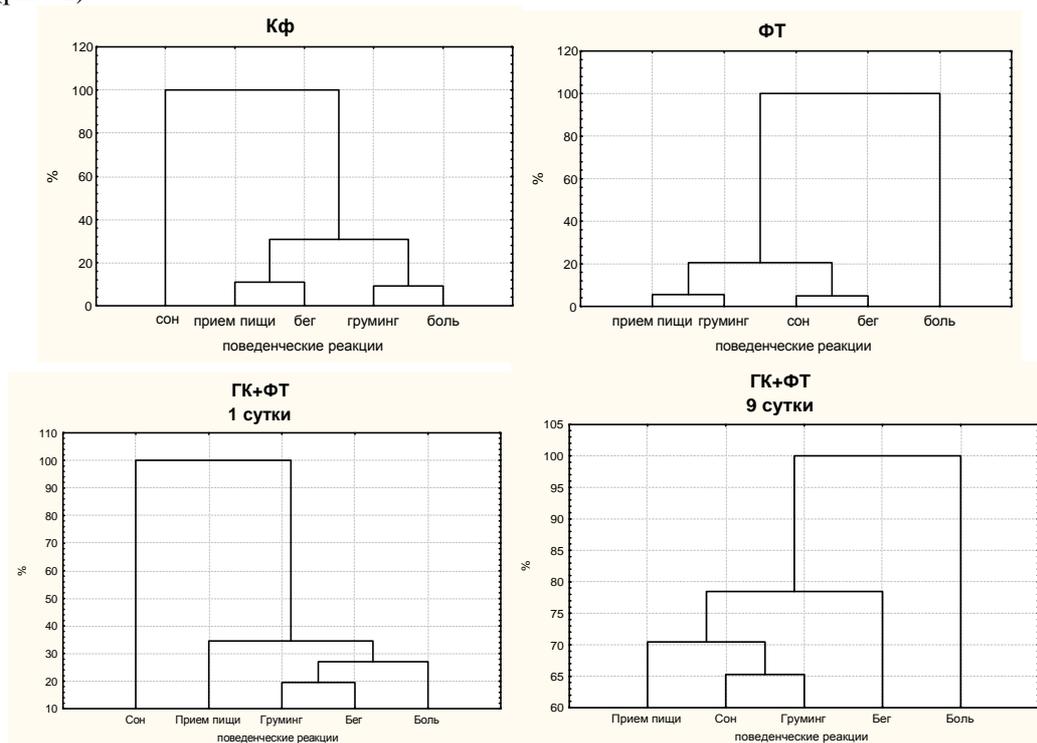


Рис. 1. Дендрограммы кластерного анализа показателей продолжительности болевых и неболевых поведенческих реакций у крыс, подвергнутых введению физиологического раствора ( $K_{\phi}$ ), изолированному (ФТ) и комбинированному с гипокинетическим стрессом (ГК+ФТ) действию болевого фактора в «формалиновом тесте» в разные сроки ограничения подвижности.

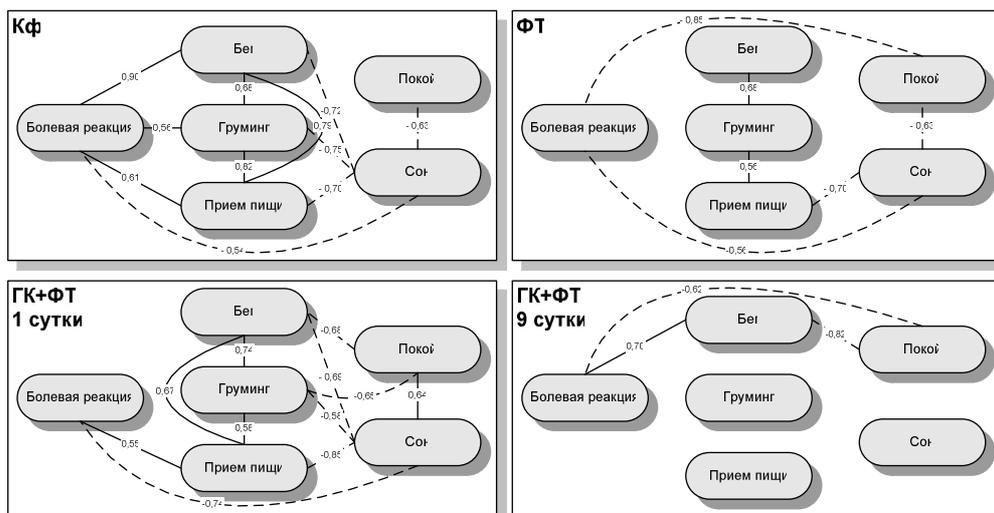


Рис. 2. Коэффициенты корреляции ( $p < 0,05$ ) между изученными поведенческими проявлениями у крыс, подвергнутых введению физиологического раствора (Кф), изолированному (ФТ) и комбинированному с гипокинетическим стрессом (ГК+ФТ) действию болевого фактора в «формалиновом тесте» в разные сроки ограничения подвижности.

Под влиянием последовательного действия ограничения подвижности в течение первых пяти суток и болевого фактора произошло уменьшение количества достоверных коэффициентов корреляции между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями по сравнению с таковыми в контрольной группе животных, однако картина корреляционных взаимоотношений между изученными поведенческими проявлениями существенно отличалась от животных второй группы, подвергнутых изолированному действию болевого фактора (рис. 2).

Полученные данные корреляционного и кластерного анализов свидетельствуют о том, что в модифицирующем действии ГК стресса на болевую чувствительность животных в ранние сроки ограничения подвижности (1–5-е сутки) большое значение имеет восстановление взаимосвязей между различными болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями при действии болевого фактора.

Подтверждением влияния ГК стресса на болевую чувствительность крыс в зависимости от сроков ограничения подвижности являются также полученные данные об изменении ритмических процессов болевой чувствительности на разных сроках ограничения подвижности. У крыс, подвергнутых изолированному действию болевого фактора, наблюдались существенные нарушения микроритмики продолжительности болевых и неболевых поведенческих проявлений, выраженные в значительном изменении амплитуд (увеличение или уменьшение) и существенных сдвигах фаз в выделенных периодах относительно значений этих показателей у крыс, которым вместо раствора формалина вводился физраствор, что подтверждает выраженное рассогласование продолжительности поведенческих проявлений у

животных в ФТ.

Косинорограммы микроритмов также иллюстрируют ослабление координации между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями у животных, подвергнутых экспериментальной тонической боли (рис. 3). Полученные данные о нарушении микроритмики продолжительности изученных поведенческих проявлений под влиянием болевого фактора указывают на развитие у животных этой группы ФТ десинхроноза, который является следствием развития в организме стресс-реакции и предшествует развитию патологических состояний с последующими информационными, энергетическими, обменными и структурными изменениями [3, 4]. На ранних сроках ограничения подвижности (1–5-е сутки) наблюдалось большее сходство амплитудно-фазовых характеристик продолжительности поведенческих проявлений с данными показателями у крыс контрольной группы (Кф), чем с таковыми у животных, подвергнутых изолированному болевому фактору ФТ. Косинорограммы интегральных микроритмов болевого фактора у животных, находившихся в условиях комбинированного действия на ранних сроках (1–5-суточного) ГК стресса, и показателей поведенческих проявлений наглядно иллюстрируют восстановление фазовых взаимоотношений данных показателей относительно таковых у животных контрольной группы, что свидетельствует о синхронизации продолжительностей изученных поведенческих реакций в микродиапазоне (рис. 3).

Таким образом, полученные данные показали, что у животных, подвергнутых комбинированному действию пятисуточной ГК и болевого фактора, произошло уменьшение продолжительности болевых реакций на фоне увеличения болевого порога, уровня выносливости боли и двигательной активности, восстановление взаимосвязей между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями и нормализация амплитудно-фазовых характеристик данных показателей, указывающее на координацию и синхронизацию продолжительности изученных поведенческих реакций. Следовательно, болевая чувствительность крыс при ограничении подвижности в течение первых пяти суток уменьшилась.

Вероятно, зарегистрированные изменения являются наиболее благоприятными для развития адаптивного поведения, защищают организм от неблагоприятных последствий первого периода ограничения подвижности и болевого стресса и свидетельствуют о развитии в организме животных перекрестной, или кросс-адаптации [5]. Это означает, что адаптация к какому-либо стрессору, в частности к ГК стрессу, может не только повышать устойчивость организма к действию данного фактора, т. е. вызывать прямой защитный эффект, но и увеличивать устойчивость к действию других факторов, в данном случае болевого.

Однако длительное ограничение подвижности (7–9-е сутки) привело к увеличению продолжительности болевой реакции в «формалиновом тесте» относительно значений у крыс, подвергнутых изолированному действию болевого фактора.

Так, на дендрограмме показателей поведенческих проявлений у крыс, подвергнутых комбинированному действию болевого фактора в ФТ и ГК стресса, на 7-е сутки ограничения подвижности все еще отмечается объединение показателей болевых и неболевых поведенческих проявлений в общие кластеры, однако

расстояние между кластерами существенно увеличилось (рис. 1). На 9-е сутки ГК болевая реакция оказалась обособлена в отдельный кластер от неболевых поведенческих проявлений, а структура дендрограммы стала в большей мере схожа с таковой у животных, подвергнутых действию болевого фактора, нежели у крыс контрольной группы.

Таким образом, полученные данные корреляционного и кластерного анализов свидетельствуют о том, что модифицирующее действие ГК стресса при действии болевого фактора в более поздние сроки ограничения подвижности разобщает взаимосвязи между поведенческими проявлениями.

Результаты косинор-анализа показали, что в более поздние сроки ГК стресса (7 – 9-е сутки) отмечается значительное изменение амплитудно-фазовых характеристик выделенных периодов относительно значений как крыс контрольной группы (Кф), так и крыс, подвергнутых изолированному болевому фактору (ФТ), что свидетельствует о развитии десинхронизации у животных, подвергнутых комбинированному действию ГК и болевого фактора, даже в большей степени, чем у крыс, подвергнутых изолированному действию ФТ. Эти данные подтверждаются косинорограммами, которые демонстрируют выраженное рассогласование фаз между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями (рис. 3).

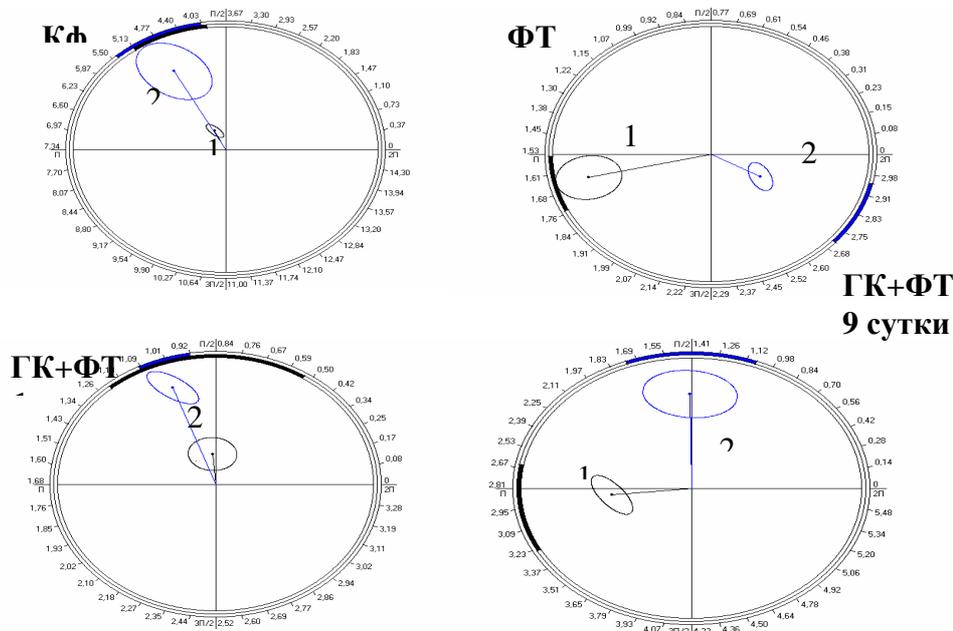


Рис. 3. Косинорограммы интегральных микроритмов показателей продолжительности болевой (1) и неболевой (2) поведенческих проявлений у крыс, подвергнутых введению физиологического раствора (Кф), изолированному (ФТ) и комбинированному с гипокинетическим стрессом (ГК+ФТ) действию болевого фактора в «формалиновом тесте», в разные сроки ограничения подвижности в периоде  $\approx 21,0$  минута.

Такие изменения изученных поведенческих феноменов при действии болевого фактора на фоне ГК могут быть связаны с более поздними сроками ограничения подвижности, которое приводит к развитию первой стадии общего адаптационного синдрома или стресс-реакции тревоги [5].

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Данные кластерного и корреляционного анализов показывают о том, что в механизмах модифицирующего действия гипокинетического стресса на уровень болевой чувствительности на ранних сроках ограничения подвижности большое значение имеет восстановление взаимосвязей между болевыми и неболевыми поведенческими проявлениями, а в более поздние сроки гипокинезии – разобщение и уменьшение корреляционных взаимосвязей между данными поведенческими проявлениями.
2. Модифицирующее действие гипокинетического стресса на уровень болевой чувствительности проявляется в изменении ритмических процессов продолжительностей болевых и неболевых проявлений у крыс в микродиапазоне: на ранних сроках ограничения подвижности отмечается корригирующее и синхронизирующее действие ограничения подвижности, что проявляется в большем сходстве амплитудно-фазовых характеристик продолжительностей поведенческих проявлений с таковыми у животных, подвергнутых ложному действию болевого фактора; в поздние сроки гипокинезии происходит развитие десинхроноза, причем в большей степени, чем у животных, подвергнутых изолированному действию болевого фактора.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».*

*Выполнено при поддержке Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту «Сеть академической мобильности “Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР”» в ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П. К. Анохина».*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № p\_a 16-44-910604.*

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

Список литературы

1. Чуян Е. Н. Модифицирующее действие гипокINETического стресса на изменение болевой чувствительности крыс (Часть 1) / Е. Н. Чуян, Т. В. Заячникова, М. Ю. Раваева, И. С. Миронюк, Е. А. Бирюкова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2016. – Том 2 (58), № 3. – С. 55–64.
2. Чуян Е. Н. Модифицирующее действие гипокINETического стресса на изменение болевой чувствительности крыс (Часть 2) / Е. Н. Чуян, Т. В. Заячникова, М. Ю. Раваева, И. С. Миронюк, Е. А. Бирюкова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2016. – Том 2 (58), № 4. – С. 66–74.
3. Ашофф Ю. Биологические ритмы. / Ю. Ашофф – М.: Мир, 1984. – 414 с.
4. Степанова С. И. Биоритмологические аспекты проблемы адаптации / С. И. Степанова – М.: Наука, 1985. – 244 с.
5. Меерсон Ф. З. Общий механизм адаптации и роль в нем стресс-реакции, основные стадии процесса / Ф. З. Меерсон // Физиология адаптационного процесса. – М.: Наука, 1985. – С. 77–123.

**TEMPORAL ORGANIZATION OF PAIN SENSITIVITY OF RATS UNDER THE INFLUENCE OF HYPOKINETIC STRESS**

*Chuyan E. N., Zayachnikova T. V., Ravaeva M. Yu., Mironyuk I. S., Birukova E. A.*

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

The study examined the relationship of behavioral reactions of rats to the pain test, and data modification reaction under the effect of hypokinetic stress. Use of cluster and correlation analyses allowed to characterize changes in the rhythmic processes of the duration of pain and not pain manifestations in rats microcapsule: in the early stages of the mobility limitation (first to fifth day), there is correcting the synchronizing action of hypokinesia, which is manifested in a greater similarity of amplitude-phase characteristics of the durations of behavioral manifestations to those seen in animals subjected to the action of about the pain factor; in the later stages of the mobility limitation (seventh to ninth day) is the development of desynchronization, even to a greater extent than in rats subjected to the isolated effect of the pain factor.

The data of cluster and correlation analyzes show that in the mechanisms of the modifying effect of hypokinetic stress on the level of pain sensitivity at early stages of mobility limitation, the restoration of interrelations between pain and non-behavioral manifestations is of great importance, and in later periods of hypokinesia, the separation and reduction of the correlation relationships between the data behavioral manifestations.

The modifying effect of hypokinetic stress on the level of pain sensitivity is manifested in a change in the rhythmic processes of the durations of pain and nebolevymi manifestations in rats in the micro range: early correction of the mobility notes the corrective and synchronizing effect of the limitation of mobility, which manifests itself in a greater similarity of the amplitude-phase characteristics of the durations of behavioral manifestations to those in animals subjected to the false action of the pain factor; in the

late periods of hypoxenia, desynchronosis develops, and to a greater extent than in animals subjected to the isolated action of the pain factor.

**Keywords:** hypokinesia, pain, formalin test, biological microrite, rats.

#### References

1. Chuyan E. N., Zachnikova T. V., Ravaeva M. Yu., Mironyuk I. S., Birukova E. A. Modifying effect of hypokinetic stress on change pain sensitivity of rat (part 1), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (68), **3**, 55 (2016).
2. Chuyan E. N., Zachnikova T. V., Ravaeva M. Yu., Mironyuk I. S., Birukova E. A. Modifying effect of hypokinetic stress on change pain sensitivity of rat (part 2), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (68), **4**, 66 (2016).
3. Ashoff Ju. *Biological rhythms*, 414 (M.: Mir, 1984).
4. Stepanova S. I. Biorhythmic aspects of the problem of adaptation, 244 (M.: Nauka, 1985).
5. Meerson F. Z. General mechanism of adaptation and the role of the stress response, the main stages of the process, *Physiology of the adaptation process.*, 77–123 (M.: Nauka, 1985).

**УДК 591.526:599.73 (470.323)**

## **ФЕНОМЕН ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ КОПЫТНЫХ В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ В КРЫМУ. СООБЩЕНИЕ II. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ**

*Ярыш В. Л.<sup>1</sup>, Иванов С. П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Карадагская научная станция  
им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», Феодосия, Республика Крым, Россия*

<sup>2</sup>*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: galina.yarish65@gmail.com*

Во втором сообщении (первое сообщение см. [1]) по оценке численности популяции косули европейской (*Capreolus capreolus* L.) и дикого кабана (*Sus scrofa ussuricus* Heude) на территории Карадагского природного заповедника приводятся данные учетов численности и расчета плотности данных видов на территории заповедника по методике, изложенной в первом сообщении. Учеты копытных проводились с 1986 по 2002 год с периодичностью 2–3 года, с 2002 года по 2017 – ежегодно. С момента основания заповедника (1984 г.) плотность косули увеличивалась по экспоненте с 20 особей на 1 тыс. га до 440. Средняя за последние 10 лет наблюдений плотность косули в заповеднике – 205 голов на 1 тыс. га – в 12 раз превышает норму, рассчитанную с учетом бонитета участков обитания этого вида в заповеднике. Плотность кабана в заповеднике подвержена сильным колебаниям, при этом средняя плотность этого вида превышает оптимальную в 23 раза, а максимальная – в 50. Рост численности копытных в Карадагском заповеднике в течение последних 30 лет и достижение ими исключительно высокой плотности характеризуется как феномен, не имеющий аналогов не только в охотничьих угодьях России и соседней страны Украины, но и в заповедниках.

**Ключевые слова:** косуля европейская, дикий кабан, *Capreolus capreolus*, *Sus scrofa ussuricus* динамика численности, плотность, Крым.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Основная задача заповедников состоит в сохранении первозданных биогеоценозов. Решение этой простой на первый взгляд задачи на практике вызывает большие затруднения. Большинство заповедников в России, в ряде случаев начиная с момента их создания, столкнулись с рядом проблем: обеспечение должной охраны участков абсолютной заповедности, их соотношение с участками более мягкого режима охраны, регуляция численности животных, противодействие вселенцев и др. Подходы к решению этих проблем до сих пор не нашли достаточно полного научного обоснования и находятся в состоянии разработки, накопления данных и поиска оптимальных путей.

Научная полемика по этим проблемам характеризуется столкновением различных концепций, иногда полярных как по существу, так и в проекции практических рекомендаций [2–12]. В этих исследованиях показано, что одна из

наиболее острых проблем – постепенно возникающий избыток на заповедных территориях диких копытных животных, таких как дикий кабан, лось, олень, косуля.

Дикие копытные, безусловно, являются естественным и необходимым компонентом как лесных, так и степных биоценозов, но в тех случаях, когда их численность выходит из-под контроля и становится чрезмерной, копытные превращаются в бедствие для природы [13–15].

В процессе интенсивного использования фитобиоты при отсутствии факторов, сдерживающих рост их численности, копытные способны существенно ограничивать возможности их воспроизводства, изменять гено- и ценофонд растительных сообществ, а в условиях заповедников – снижать качество эталонирования и мониторинга экосистем [8]. Такая ситуация, безусловно, находится в противоречии с основными целями и задачами заповедного дела.

Решением этой проблемы могло быть создание режима благоприятствования для обитания в заповедниках крупных хищников, что стало возможным только после их реабилитации в 60-х годах XX века. Этот естественный выход из положения на практике оказался возможным только в некоторых достаточно крупных заповедниках, которых, к сожалению, оказалось не так много. Большинство относительно небольших заповедников так и остались наедине с проблемой. Ее решение путем выполнения функций хищников соответствующими службами заповедников, также оказалось проблематичным. Во-первых, контроль над численностью копытных – это только часть той экологически важной функции, которую выполняют хищники в природе. Сдерживание роста численности копытных важно для растительных сообществ, но для самих копытных более важным является селективный характер изъятия особей, в результате которого происходит оздоровление их популяции, сбрасывается генетический груз, снижается вероятность эпизоотий. Осуществить такой селективный отбор на том уровне, на котором его проводят хищники, человек не в состоянии.

Во-вторых, как показала практика, изъятие части популяции копытных на заповедной территории должно проводиться ежегодно и весьма интенсивно – как минимум в размере годового прироста копытных [8–9]. Масштабы такого изъятия, приобретающего в отдельных заповедниках характер промышленных заготовок, мягко говоря, плохо согласуются с известными концептуальными принципами заповедного дела и вызывают вполне естественное неприятие в морально-этическом плане.

Проблема избытка копытных, и в частности косули, в Карадагском природном заповеднике уже обсуждалась в ряде публикаций [10–12], но для ее решения ничего не предпринималось. Ситуация в данном заповеднике требует самого пристального внимания, поскольку численность косули в этом заповеднике превысила все нормы и продолжает увеличиваться. Скорейшее решение этой проблемы особенно актуально с учетом небольшой площади заповедника, его расположения в курортно-рекреационной зоне полуострова и большого значения для сохранения уникального природного биоразнообразия Крыма в целом.

Цель данной работы – представить данные о характере изменения численности и плотности косули европейской (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758) и дикого кабана (*Sus scrofa ussuricus* Heude, 1888) на территории Карадагского природного заповедника на протяжении последних 30-ти лет, проанализировать и обсудить феномен высокой плотности косули в заповеднике и возможные последствия данного явления для него.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Условия обитания копытных в Карадагском природном заповеднике и использованные методы учета их численности на территории заповедника подробно изложены в первом сообщении [1].

В частности, отмечено, что на современном этапе растительность Карадага представлена главным образом лесами, шибляками (кустарниковоподобные экземпляры дуба пушистого, грабинника и кустарников), степными участками, томилярами (разреженные насаждения с кустарниками, полукустарниками и кустарников в виде низкорослой растительности), саванноидами. Фактически в заповеднике преобладают два зональных вида растительности: субсредиземноморские леса ( $\approx 40\%$ ) и степи ( $\approx 20\%$ ). Для заповедника характерны разнообразие и мозаичность биотопов.

Общая площадь угодий, пригодных для проживания косули и кабана в Карадагском природном заповеднике и подлежащих бонитировке, составила 1715 га. Учетные площадки выбирались в пределах среднего класса бонитета копытных животных. Территориально учетные площадки расположены так, что при учете на них исключена возможность перехода животных с одной площадки на другую во время учета, что обеспечивает невозможность двойного учета животных. Экстраполяция полученных данных учетов на учетных площадках проводилась на площадь, подлежащую бонитировке – 17,15 кв. м.

Общая площадь учетных площадок (98 га) составляет 12 % от общей площади обитания копытных в заповеднике. Учеты копытных в заповеднике проводились методом шумового прогона. Перед началом учета со всеми участниками учета проводится детальный инструктаж. Материалы учета отображались в ведомости учета зверей на площадках и в сводной ведомости мониторинга по площадкам. На основании данных сводной ведомости по каждому виду учитываемых охотничьих зверей производился расчет показателей плотности, численности и рассчитывалась статистическая ошибка учета.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Данные по оценке численности и плотности косули европейской на территории Карадагского природного заповедника в период с 1986 по 2016 год представлены в таблице 1. Наглядное представление о характере изменения плотности косули за исследованный период в последовательном ряду лет дает рисунок 1.

Из данных таблицы и рисунка следует, что с момента основания заповедника в 1984 году по 2017 год плотность косули увеличивалась по экспоненте, начиная с 28

особей (1984 г.) до 437 (2016 г.). Существенный спад численности косули наблюдался с 2007 года по 2009 год (в 1,5 раза), в 2012 (в 1,4 раза) и в 2017 (в 2,5 раза). В периоды подъема численности косули ежегодный прирост составлял от 15 до 60 % при среднем значении около 30 %.

**Таблица 1**

**Результаты учетов численности косули европейской на территории Карадагского природного заповедника**

Учетная площадь, га	Дата учета	Учтено животных	Общая численность животных в заповеднике	Плотность животных, голов на 1000 га
232,0	08.02.17	42	310	181
160,0	22.03.16	70	750	437
232,0	08.02.15	87	643	375
376,0	02.02.14.	119	543	316
376,0	03.02.13.	96	438	255
376,0	29.01.12.	58	264	154
376,0	23.01.11.	81	369	215
376,0	24.01.10.	69	316	185
376,0	24.01.09.	59	269	157
376,0	26.01.08.	75	341	199
376,0	28.01.07.	89	406	236
376,0	23.02.06.	90	410	239
254,0	30.01.05.	44	297	147
254,0	20.03.04.	38	256	127
376,0	27.01.03.	81	369	157
376,0	05.02.02.	40	182	106
167,0	15.10.99.	18	185	108
167,0	21.01.97.	12	123	72
167,0	18.01.97.	16	165	96
167,0	15.02.93.	4	41	24
150,0	05.02.92	3	34	20
73,0	28.11.89.	3	70	41
190,0	27.11.89.	8	72	42
178,0	06.02.86.	5	48	28

На фоне процесса преимущественного роста численности косули в заповеднике оценить периодичность многолетних колебаний численности этого вида затруднительно. Из данных, представленных на рисунке 1, можно с осторожностью предположить существование как минимум двух пиков численности – в 2006–2007 гг. и в 2016 г., интервал времени между которыми составляет 9–10 лет.

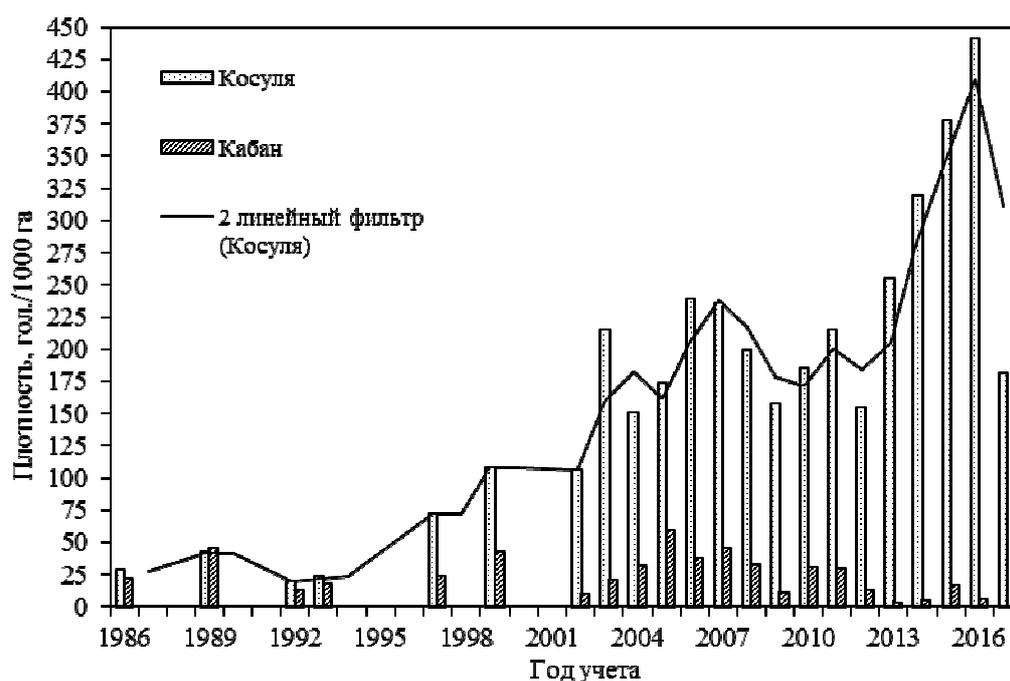


Рис. 1. Многолетняя динамика плотности косули и кабана в Карадагском природном заповеднике за период с 1986 по 2016 год

Плотность кабана с 1986 по 2001 года колебалась от 13 до 45 особей на 1 тыс. га (табл. 2). Нерегулярность наблюдений в этот период не позволяет сделать определенных заключений о каких бы то ни было закономерностях ее изменения. В период регулярных наблюдений начиная с 2002 года отмечено закономерное увеличение плотности до 59 особей на 1 тыс. га, а затем постепенное снижение до нескольких единиц. Тем не менее с большой осторожностью, учитывая отмеченные максимальные и минимальные значения плотности кабана за 30-ти летний период наблюдений, можно предположить, что численность кабана колебалась с периодом 6–12 лет.

Копытные животные являются важным компонентом наземных биогеоценозов. Потребляя большие объемы растительных кормов в течение всего года, активно передвигаясь по территории обитания, копытные оказывают большое влияние на экосистемы, в том числе и лесные, что подтверждается данными ряда публикаций [16–19]. Сопровождающие жизнедеятельность копытных факторы физического воздействия на среду – вытаптывание и уплотнение почвы, взрыхление верхних почвенных горизонтов и подстилки – приводят к изменению микрорельефа, гидротермического режима, многих физических и химических характеристик почвы. Сильное влияние на растительность оказывает пищевая активность копытных, которая сопровождается ее изреживанием, изменением целого ряда фитоценологических показателей, уменьшением биомассы и соотношения численности видов множества почвенных беспозвоночных [20; 2–5; 21]. В условиях

избытка копытных их воздействие на среду обитания приобретает негативные черты, снижая целый ряд важных фитоценологических показателей.

**Таблица 2**  
**Данные по учету численности и расчетной плотности кабана на территории Карадагского природного заповедника за период с 1986 по 2013 гг.**

Учетная площадь, га	Даты учета	Учтено особей	Плотность особей, гол./1000 га	Общая численность кабана в заповеднике
178	06.02.86	4	22	37
263	27–28.11.89	8	45	77
150	05.02.92	2	13	22
167	15.02.93	3	18	31
344	18–21.01.97	9	27	46
167	15.10.99	7	42	72
370	05.02.02	4	10	17
376	27.01.03	8	21	36
254	20.03.04	8	31	53
254	30.01.05	15	59	101
В среднем			<b>28,8</b>	<b>49,2</b>
376	23.02.06	14	37	63
376	28.01.07	17	45	77
376	26.01.08	12	32	54
376	24.01.09	4	11	19
376	24.01.10	10	30	51
376	23.01.11	11	29	50
376	29.01.12	5	13	23
376	03.02.13	1	3	5
В среднем за все годы			<b>27,1</b>	<b>46,3</b>

При отсутствии должного контроля над численностью копытные быстро превращаются в настоящее бедствие для природы [14; 15; 13; 3; 4]. Яркие примеры крайне негативного воздействия крупных копытных на фитоценозы в условиях неконтролируемого роста их численности известны как для ряда лесохозяйственных хозяйств [22–24], так и для заповедных территорий [25–32]. Деформация природных экосистем заповедников под влиянием избыточной численности копытных вызывает особую тревогу, поскольку это означает снижение их качества как эталонов природы, что входит в противоречие с основными целями и задачами заповедного дела [8; 5].

В природе рост численности копытных эффективно регулируется (сдерживается) хищниками. В условиях их отсутствия регуляцию численности копытных вынуждено берет на себя человек, что характерно для небольших

заповедников. Необходимость вмешательства человека и не возможности реализации идеи абсолютной заповедности в условиях отсутствия крупных хищников стала предметом неутрачиваемой дискуссии [6; 34; 35, 7–9; 2; 5; 10], точка в которой, видимо, будет поставлена не скоро.

Проблема избытка копытных в Карадагском природном заповеднике уже была рассмотрена в ряде публикаций [10–12]. Представленные нами новые данные свидетельствуют, что рост численности косули продолжился до 2016 года и достиг в этом году своей максимальной величины – 750 особей. Представленные в данной работе сведения о численности косули и характере ее изменения в заповеднике в течение последних 30 лет свидетельствуют, что популяция этого вида копытных на протяжении достаточно длительного периода увеличивалась с ежегодным приростом в 10–20 %.

При создании Карадагского заповедника был разработан проект организации и развития его лесного хозяйства – Проект организации и развития Карадагского государственного заповедника АН УССР [33]. На основе оценки общего запаса зимних кормов (34,1 тонны) и допустимого уровня их потребления (25 %) в проекте сделан расчет оптимальной численности копытных. К сожалению, в ходе этого расчета была допущена ошибка. С учетом ее исправления оптимальной численности копытных в заповеднике, согласно базовым данным проекта, соответствует: 7 оленей, 16 косуль и 2 кабана. Известно, что косуля потребляет корма в 1,6 меньше оленя, поэтому в отсутствие оленя (что имеет место в настоящее время на Карадаге), оптимальное количество косуль на территории заповедника, по данным проекта, соответствует 28 особям (17 особей на 1 тыс. га).

Сравнивая рекомендованную плотность косуль с реальной, необходимо отметить, что последняя уже в первые 17 лет существования заповедника превысила норму более чем в 3 раза. Средняя плотность косули в последующий период с 2003 по 2017 гг. составила 225 особей на 1 тыс. га, что превышает норму в 13 раз. В год максимальной численности косуль (2016 г.) их плотность превысила норму в 26 раз.

Такое значительное превышение нормы по плотности и численности косули на протяжении достаточно продолжительного периода времени не может не вызвать естественный вопрос о том, почему на фоне такой высокой плотности не проявляется механизм естественной регуляции численности этого вида в заповеднике. Или он проявляется, но только в отмеченных выше колебаниях численности косуль в заповеднике. То есть колебание численности косули и есть результат действия механизмов саморегуляции, но в условиях заповедности, не способных переломить общую тенденцию последовательного роста. Однако если обратиться к рисунку 1, то видно, что при относительно низкой численности косуль (первые 17 лет наблюдений) колебания численности имели даже больший диапазон, чем при относительно высокой в последние 15 лет.

Значительные колебания численности косуль при низкой плотности отмечены также и в Старокрымском лесничестве (рис. 2). Территория Старокрымского лесничества примыкает к заповеднику. На его территории условия обитания косуль сходны с заповедником. Однако плотность косуль значительно меньшая.

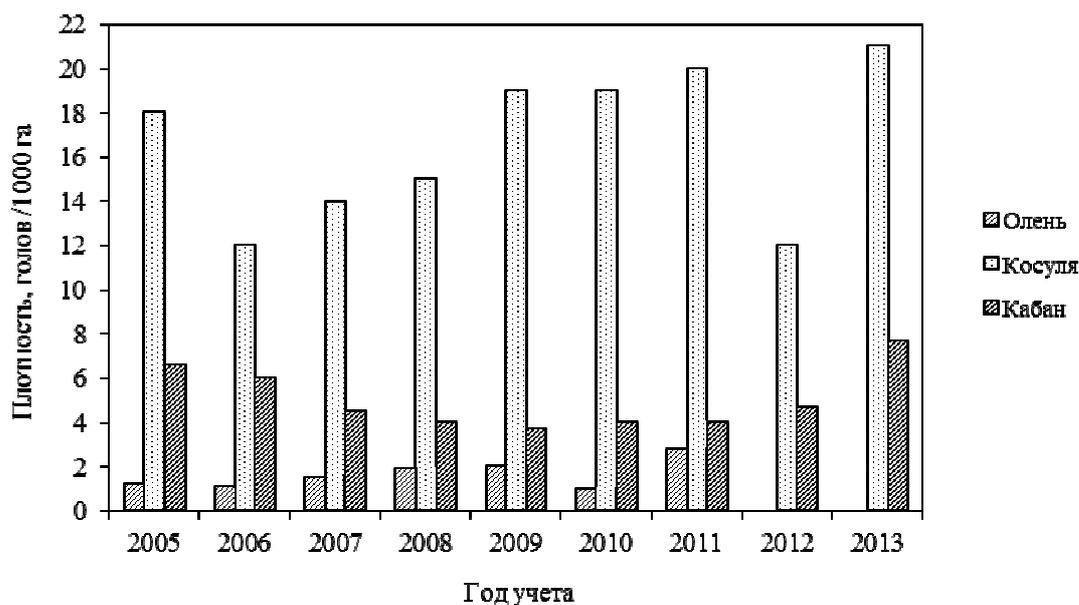


Рис. 2. Динамика плотности оленя, косули и кабана в Старокрымском лесничестве в период с 2004 по 2012 гг.

Стоит отметить еще одно обстоятельство – отсутствие корреляции между колебанием численности косуль на этих двух соседних территориях. Расчеты показали полное отсутствие как положительной, так и отрицательной корреляции ( $r=0,05$ ). Следовательно, факторы, определяющие колебание численности косуль как в заповеднике, так и на прилегающих территориях, действуют локально и независимо. Иными словами, население косуль заповедника в значительной мере обособлено от населения косуль окружающих территорий.

Можно было бы предположить, что определенную роль в снижении численности косуль в заповеднике, по крайней мере в отдельные годы, играют лисы. Однако и в этом случае оценка такого влияния дала отрицательные результаты [11]. Впрочем, отмеченные нами отклонения от классической схемы механизма «хищник – жертва» в отдельных случаях, как известно, могут иметь место и при наличии фактической взаимосвязи [36].

Резкое уменьшение численности косуль в угодьях часто связывают с падежом животных. Известно, что у крымских косуль выявлено много заболеваний, которые являются причиной гибели почти каждого десятого животного из числа погибших [37]. Однако за все время наблюдений сколько-нибудь заметного падежа животных в заповеднике в годы снижения численности не отмечено.

Таким образом, причины снижения численности косули в заповеднике в отдельные годы остаются неизвестными.

В свою очередь требует анализа и рост численности косуль в заповеднике. Как уже отмечалось, в годы подъема численности косули средний прирост поголовья

составил значительную величину – 30 %. Если исключить два крайних значения, то средний прирост составит 20 %, что соответствует естественному приросту косули при благоприятных условиях обитания. Этот факт исключает объяснения непрерывного роста численности косули в заповеднике пополнением популяции за счет прихода особей с соседних неохраемых территорий. Лишь в отдельные годы такое явление, видимо, имело место.

Интерес представляет сравнение выявленной ситуации с данными по другим заповедным территориям. В Крымском природном заповеднике численность косули в самые благоприятные периоды времени (80-е годы) не превышала 480 голов. С учетом общей площади лесов заповедника (25 тыс. га) плотность косули здесь на порядок меньше плотности этого вида копытных в Карадагском заповеднике. В Каневском природном заповеднике, сходном с Карадагским по площади (2007 га), плотность косули в лучшие годы не превышала 80–90 голов на 1 тыс. га (рис. 3).

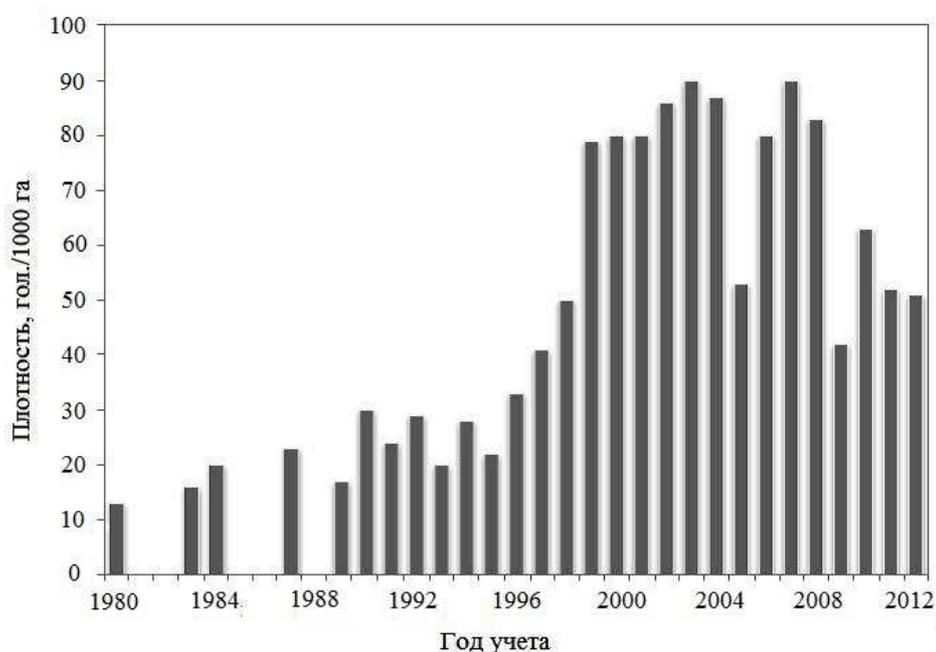


Рис. 3. Многолетняя динамика плотности косули в Каневском природном заповеднике за период с 1980 по 2012 год

Это в 5 раз ниже, чем максимальное значение, и 2,5 раза ниже, чем средняя плотность косули за последние 15 лет в Карадагском заповеднике. Стоит отметить, что плотность косули в отдельных охотничьих угодьях Крыма находится на еще более низком уровне – 10–20 голов на 1 тыс. га.

Динамика численности кабана в заповеднике за время его существования носит иной характер, нежели динамика численности косули. Как в первый период существования заповедника (до 2005 г.), так и в последующие годы численность

кабана колебалась (рис. 1, табл. 3). Среднее значение численности кабана в период с 1986 по 2005 гг. включительно составило 49 особей, а в последующие 8 лет – 43 при среднем значении 46 особей. При этом колебания численности кабана по отдельным годам наблюдений были высокими, претерпевая отклонения даже более сильные, чем у косуль. Минимальная численность кабана отмечена на уровне 5–17 особей, а максимальная – 77–100. Минимальная плотность – 3–10 голов на тыс. га, а максимальная – 45–59. Средняя плотность кабана в заповеднике превышает оптимальную в 23 раза, а максимальная – в 50. Плотность кабана в заповеднике во много раз превышает плотность кабана в прилегающем Старокрымском лесничестве (рис. 3), где также наблюдается колебание численности, хотя и в несколько меньшем диапазоне. Расчет коэффициента корреляции между численностью кабана в лесничестве и в заповеднике за период с 2005 по 2012 гг. показал явную синхронность изменения количества особей на этих территориях ( $r = 0,68$ ). Эти данные говорят о том, что кабаны, населяющие заповедник и территорию лесничества, представляют собой одну популяцию, по крайней мере находящуюся под воздействием одних и тех же факторов, влияющих на их численность.

Заканчивая обсуждение возможных причин роста и колебания численности копытных в заповеднике, стоит отметить, что амплитуда подъемов, спадов и темпы изменения численности, продолжительность циклов каждой конкретной популяции являются результатом сложного взаимодействия разнонаправленных факторов разной природы [38–40]. В связи с этим попытка интерпретации фактических данных о численности копытных и динамике ее изменения представляется весьма затруднительной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг численности копытных (косули и кабана) в Карадагском природном заповеднике и на прилегающих территориях показал, что с момента основания заповедника (1984 г.) по 2005 г. плотность косули увеличивалась по экспоненте с 20 до 438 особей на 1 тыс. га. При этом колебания численности косули в заповеднике происходили в большом диапазоне как при низких значениях численности, так и при высоких и не связаны с колебаниями численности косуль в прилегающем лесном массиве Старокрымского лесничества. Средняя за последние 10 лет наблюдений плотность косули в заповеднике – 225 голов на 1 тыс. га – в 12 раз превышает норму, рассчитанную с учетом бонитета участков обитания этого вида в заповеднике.

Среднее значение плотности кабана в Карадагском заповеднике в период с 1986 по 2005 гг. включительно составило 49 особей, а в последующие 8 лет – 43 при среднем значении 46 особей. Средняя плотность кабана в заповеднике превышает оптимальную в 23 раза, а максимальная – в 50.

Выявленные показатели плотности копытных в Карадагском заповеднике и сравнение их с аналогичными данными по другим заповедникам и охотничьим угодьям Крыма, а также прилегающим территориям позволяет заключить о феноменальном характере наблюдаемого явления, пока не поддающемуся объяснению.

**БЛАГОДАРНОСТЬ.** Авторы статьи выражают благодарность главному природоведу Каневского природного заповедника Олегу Дмитриевичу Петриченко за помощь в ознакомлении с материалами Летописи природы Каневского природного заповедника.

### Список литературы

1. Ярыш В. Л. Феномен высокой плотности косули в Карадагском природном заповеднике в Крыму. Сообщение I. Условия обитания и методика учета численности / Ярыш В. Л., Иванов С. П. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2017. – Том 3 (69), № 3 – С. 232–248.
2. Мишнев В. Г. Заповедные буковые леса Крыма, их состояние и перспективы / Мишнев В. Г. // Лесоведение. – 1971. – № 1. – С. 24–31.
3. Мишнев В. Г. Заповедники и принцип жесткой резервации территорий / Мишнев В. Г. // Ботанический журнал. – 1984. – Т. 69. – № 8. – С. 1106–1113.
4. Мишнев В. Г. Воспроизводство буковых лесов Крыма / Мишнев В. Г. – Киев – Одесса: Вища школа, 1986. – 130 с.
5. Мишнев В. Г. Заповедники – резерваты биоразнообразия (?). – В кн.: Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях: 5 лет после Гурзуфа / Мишнев В. Г. // Материалы II научной конференции. – Симферополь, 2002. – С. 166–169.
6. Тимофеева Е. К. Лось (экология, распространение, хозяйственное значение) / Тимофеева Е. К. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 168 с.
7. Филонов К. П. Динамика численности копытных животных и заповедность / Филонов К. П. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 228 с.
8. Красницкий А. М. Проблемы заповедного дела / Красницкий А. М. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 192 с.
9. Гусев А. А. Допустимая плотность диких копытных животных и опыт ее поддержания в Центрально-Черноморском заповеднике / Гусев А. А. – В кн.: Популяционные исследования животных в заповедниках. – М.: Наука, 1988. – С. 114–128.
10. Иванов С. П. Проблема избытка диких копытных на заповедных территориях. / Иванов С. П., Паршинцев А. В., Евстафьев И. Л., Товпинцев Н. Н., Ярыш В. Л. – В кн. Карадаг. История, геология, ботаника, зоология (Сборник научных трудов, посвященный 90-летию Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского и 25-летию Карадагского природного заповедника). Книга 1-я. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – С. 446–463.
11. Ярыш В. Л. Динамика численности косули европейской, зайца-русака и хищничество горно-крымской лисицы в Карадагском природном заповеднике / Ярыш В. Л., Антонен Н. В., Балалаев А. К., Иванов С. П. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – Вып. 11. – С. 144–157.
12. Ярыш В. Л. Динамика численности копытных в Карадагском природном заповеднике / Ярыш В. Л., Иванов С. П. // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского: сб. научн. раб. / Ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова. – Симферополь: Н. Орианда, 2015. – С. 372–384.
13. Trefethen J. B. Kaibab told bitter but needed lesson / Trefethen J. B. // S. Carolina Wildlife. – 1968. – Vol. 15, N 3. – P. 56-64.
14. Hine R. L. Deer and forests: better days for both / Hine R. L. // Wisconsin Conservat Bul. – 1962. – Vol. 27, № 6. – P. 68–76.
15. Hayes F. A. Growing deer herds posing major problem / Hayes F. A. // S. Carolina Wildlife. – 1964. – Vol. 2, № 3. – P. 41–47.
16. Динесман Л. Г. Влияние диких млекопитающих на формирование древостоев / Динесман Л. Г. – М.: Изд. АН СССР, 1961. – 165 с.
17. Ходашева К. С. Участие позвоночных животных – потребителей веточных кормов в круговороте веществ в лесостепных дубравах / Ходашева К. С., Елисеева В. И. – В кн.: Структура и функционально-биогеоценотическая роль животного населения суши. – М., 1967. – С. 81–84.

18. Абатуров В. Г. О функциональной роли диких позвоночных в биогеоценозах природных территорий / Абатуров В. Г. // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М.: Наука, 1980. – С. 250–269.
19. Злотин Р. И. Роль животных в биологическом круговороте лесных экосистем / Злотин Р. И., Ходашева К. С. – М., 1974. – 190 с.
20. Козло П. Г. Дикий кабан. / Козло П. Г. – Минск: Урожай, 1975. – 223 с.
21. Козулько Г. А. Влияние диких копытных на почвенных беспозвоночных в дубравах Беловежской пуши / Козулько Г. А. // Вестник зоологии. – № 14. – 2000. – С. 136–143.
22. Юркевич И. Д. Леса Белорусской ССР. / Юркевич И. Д., Гельтман В. С. – В кн.: Леса СССР. – Т. II. – М., 1966. – С. 139–219.
23. Рубцов В. И. Леса Центрально-Черноземного района / Рубцов В. И. – В кн.: Леса СССР. Т. 3. – М., 1966. – С. 107–139.
24. Рубцов В. И. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне / Рубцов В. И., Новосельцева А. И., Попов В. К., Рубцов В. В. – М., 1976. – 223 с.
25. Науменко И. М. Возрастная структура, строение, состояние, ход роста и продуктивность буковых насаждений Крымского государственного заповедника / Науменко И. М., Бицин Л. В. // Труды Крымского государственного заповедника им. Куйбышева. – Симферополь, 1957. – Вып. 5. – С. 1–29.
26. Янушко П. А. Образ жизни крымских оленей и их влияние на естественное возобновление / Янушко П. А. // Труды Крымского государственного заповедно-охотничьего хозяйства. – Симферополь, 1957. – Вып. 4. – С. 107–138.
27. Корякин Д. А. Влияние лося на возобновление / Корякин Д. А. // Труды Приокско-Террасного государственного заповедника – 1961. – Вып. 3. – С. 29–54.
28. Буховец Г. М. Современное состояние естественного возобновления дубрав Хоперского заповедника. / Буховец Г. М., Лукьянец В. Б. – В кн.: Дубравы Хоперского заповедника. Ч. 2. – Воронеж, 1976. – С. 55–66.
29. Волох А. М. (2004) Великі ссавці південної України в ХХ ст. (динаміка ареалів, чисельності, охорона та управління). Автореф. дис. докт. биол. наук: 03.00.08, К.: Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАНУ. / Волох А. М. – 35 с.
30. Голгофская К. Ю. Вопросы охраны растительного покрова в заповедниках. / Голгофская К. Ю. – В кн.: Тезисы докладов V делегатского съезда ВБО. – Киев, 1973. – С. 12–14.
31. Рамлаев Е. А. Влияние оленя европейского на древесно-кустарниковую растительность Беловежской пуши / Рамлаев Е. А. // Беловежская пуца. – Минск, 1969. – Вып. 3. – С. 125–134.
32. Романовский В. П. Влияние биотехнических мероприятий на численность копытных Беловежской Пуши / Романовский В. П., Кочановский С. Б. // Беловежская Пуца. – Минск, 1971. – Вып. 4. – С. 152–167.
33. Проект организации и развития Карадагского государственного заповедника АН УССР. – Киев, 1983–84. – Т. 1. – Кн. 1. – 61 с.
34. Тимофеева Е. К. Косуля. Серия: Жизнь наших птиц и зверей. Вып. 8. / Тимофеева Е. К. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985. – 224 с.
35. Фадеев Ф. Е. Какому лесу нужен кабан? / Фадеев Ф. Е. // Охота и охотничье хозяйство. – 1978. – № 1. – С. 6–8.
36. Федоров А. Я. Предельные циклы в системе «хищник – жертва» / Федоров А. Я. // Сб. статей «Актуальные проблемы медицины и биологии». – 2003. – Вып. 2. – С. 99–102.
37. Дулицкий А. И. Биоразнообразие Крыма. Млекопитающие. / Дулицкий А. И. – Симферополь: СОНАТ, 2001. – 208 с.
38. Максимов А. А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. / Максимов А. А. – Новосибирск, 1984. – 252 с.
39. Forchhammer M. C. Population dynamics of Norwegian red deer: density-dependence and climatic variation. / Forchhammer M. C., Stenseth N. C., Post E., Langvatn R. // Proc. R. Soc. Lond. B. – 1998. – 265. – P. 341–350.
40. Mysterud A. Monitoring population size of red deer *Cervus elaphus*: an evaluation of two types of census data from Norway. / Mysterud A., Meisingset E. L., Veiberg V., Langvatn R., Solberg E. J., Loe L. E., Stenseth N. C. // Wildl. Biol. – 2007. – 13. – P. 285–298.

THE PHENOMENON OF HIGH DENSITY OF UNGULATES AT THE  
KARADAG NATURE RESERVE IN CRIMEA. REPORT II. LONG-TERM  
POPULATION DYNAMICS

Yarysh V. I.<sup>1</sup>, Ivanov S. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budget Institution of Science «T.I. Vyasemsky Karadag Scientific Station – Nature reserve of the RAS», Feodosia, Russian Federation

<sup>2</sup>V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: galina.yarish65@gmail.com

The second population estimate report of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) and wild boar (*Sus scrofa ussuricus* Heude) at the Karadag natural reserve provides data on population recordings and density calculations for these species at the reserve according to the methodology described in the first message. Counts of ungulates were conducted with a periodicity of 2–3 years from 1986 to 2002 years and annually from 2002 to 2017. Density of the roe deer has increased exponentially from 20 individuals per 1,000 to 440 since the foundation of the reserve (1984). Over the last 10 years of observation, the average density of roe deer in the reserve (205 heads per 1,000) is 12 times higher than the norm (density was calculated with taking into account the bonitet of habitats for this species in the reserve).

An average density of wild boar in the reserve exceeds the optimal amount by 23 times, the maximum density by 50 times and is subject to strong fluctuations. The past 30-years-growth of ungulates population in the Karadag reserve and their progression to an exceptionally high density are characterized as a phenomenon. This phenomenon has no analogues neither at the hunting grounds of Russia and the neighboring country of Ukraine nor in other reserves.

**Keywords:** European roe deer, wild boar, *Capreolus capreolus*, *Sus scrofa ussuricus*, dynamics of abundance, density, Crimea.

#### References

1. Yarysh V. L., Ivanov S. P., The phenomenon of high density of ungulates at the Karadag nature reserve in Crimea. Report I. Peculiarities of population estimations and data interpretation, *Uchenie zapiski Krimskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologia. Himia*, **3 (69)**, 232 (2017).
2. Mishnev V. G., Reserve beech forests of Crimea, their condition and prospects, *Lesovedenie*, **1**, 24 (1971).
3. Mishnev V. G., Reserves and principle of hard reservation of territories, *Botan. Journal*, **69, 8**, 1106 (1984).
4. Mishnev V. G., Reproduction of beech forests of Crimea, 130 (Vyshcha shkola, Kiev – Odessa, 1986).
5. Mishnev V. G., Reserves – biodiversity reservat, Reserves of the Crimea. Biodiversity at Priority Territories: 5 years after Gurzuf: Proceedings of the II Scientific Conference (Simferopol, April 25-26, 2002), 166 (2002).
6. Timofeeva E. K., Elk (ecology, spread, economic importance), 168 (Publishing house of the Leningrad University, Leningrad, 1974).
7. Filonov K. P., *The dynamics of an amount of ungulates and the reserve*, 228 (Promyshlennost, Moscow, 1977).
8. Krasnitskiy A. M., *Problems of the reserve management*, 192 (Lesnaya promyshlennost, Moscow, 1983).

9. Gusev A. A., The permissible density of wild ungulates and the experience of its maintenance in the Central Black Sea Reserve, *Population animals studies in reserves*, 114 (1988).
10. Ivanov S. P., Parshintsev A. V., Evstaf'yev A. I., Tovpinets N. N., Yarysh V. L., Problem of excess of wild ungulates at protected areas, *Karadag. History, geology, botany, zoology: Collection of scientific papers dedicated to the 90th anniversary of the T.I. Vyazemsky Karadag scientific station and the 25th anniversary of the Karadag nature reserve*, **1**, 445 (2004).
11. Yarysh V. L., Antonets N. V., Balalayev A. K., Ivanov S. P., Dynamics of the European roe deer, European hare and predation of the mountain-Crimean fox in the Karadag Nature Reserve, *Ecosystems, Their Optimization and Protection*, **11**, 144 (2014).
12. Yarysh V. L., Ivanov S. P., Population dynamics of ungulates in the Karadag Nature Reserve, *100 years of the T. I. Vyazemsky Karadag scientific station: Issue of scientific papers*, 372 (2015).
13. Trefethen J. B., Kaibab told bitter but needed lesson, *S. Carolina Wildlife*, **15**, **3**, 56 (1968).
14. Hine R. L. Deer and forests: better days for both, *Wisconsin Conservat Bul*, **27**, **6**, 68 (1962).
15. Hayes F. A. Growing deer herds posing major problem, *S. Carolina Wildlife*, **2**, **3**, 41 (1964).
16. Dinesman L. G., *The influence of wild mammals on the forming of tree stands*, 165 (Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1961).
17. Khodasheva K. S., Eliseeva V. I., Participation of vertebrate animals that feed by twig forage in the circulation of substances in forest-steppe oak forests, *Structure and functional-biogeocenotic role of the animal population of the land*, 81 (Moscow, 1967).
18. Abaturov V. G., On the functional role of wild vertebrates in biogeocenoses of natural territories, *Structural and functional organization of biogeocenoses*, 250 (1980).
19. Zlotin R. I., Khodasheva K. S., *The role of animals in the biological cycle of forest ecosystems*, 200 p. (Nauka, Moscow, 1974).
20. Kozlo P. G., *A wild boar*, 223 (Urozhay, Minsk, 1975).
21. Kazulko G. A., The wild ungulates influence on soil invertebrates in the oak forests of Belovezhskaya Pushcha, *Vestnik soologii*, **14**, 136 (2000).
22. Yurkevich I. D., Geltman V. S., Forests of the Byelorussian SSR, *Forests of the USSR. Volume II*, 136 (1966).
23. Rubtsov V. I., Forests of the Central Black Earth region, *Forests of the USSR. Volume 3*, 107 (1966).
24. Rubtsov V. I., Novoseltseva A. I., Popov V. K., Rubtsov V. V., The pine biological productivity in the forest-steppe zone, 223 (Moscow, 1976).
25. Naumenko I. M., Bitsin L. V., The age structure, composition, status, growth course and productivity of beech plantations in Crimean State Reserve, *Proceedings of the Kuibyshev Crimean State Reserve*, **5**, 1 (1957).
26. Yanushko P. A., The living of the Crimean deer and its influence on natural renewal, *Proceedings of the Crimean State Reserve-Hunting Economy*, **4**, 138 (1957).
27. Koryakin D. A., The elk influence on renewal, *Proceedings of the Prioksko-Terrasnoy State Reserve*, **3**, 29 (1961).
28. Bukhovets G. M., Lukyanets V. B., The current state of the oak groves natural renewal of the Khopersky Reserve, *Oak forests of the Khopersky Reserve. Patr.* **2**, 55 (1976).
29. Volokh A. M., Large mammals of southern Ukraine in the twentieth century (habitats dynamics, numbers, protection and management), *Author's abstract. dis. Doct. Biol. Sciences: 03.00.08, Shmalgauzena Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 35 (Kiev, 2004).
30. Golgofskaya K. Yu., Вопросы охраны растительного покрова в заповедниках. – В кн.: *Abstracts of the V delegate congress ABS*, 12 (Kiev, 1973).
31. Ramlaev E. A., European deer influence on woody and shrubby vegetation of Belovezhskaya Pushcha, *Belovezhskaya pushcha*, **3**, 125 (1969).
32. Romanovsky V. P., Kochanovsky S. B., Biotechnical measures influence on the amount of ungulates of Belovezhskaya Pushcha, *Belovezhskaya pushcha*, **4**, 152 (1971).
33. Design of organization of the territory and protection of natural complexes of the Karadag Nature Reserve of the National Academy of Sciences of Ukraine, 210 (Irpen, 2005).
34. Timofeeva E. K., *Roe. Series: The life of our birds and animals*, **8**, 224 (Publishing house of the Leningrad University, Leningrad, 1985).
35. Fadeev F. E., Which wood is needed a boar?, *Ohota i ohotnichie hozyaistvo*, **1**, 6 (1978).

36. Fedorov A. Ya., Limit cycles in the "predator – prey" system, *Actual problems of medicine and biology*, **2**, 99 (2003).
37. Dulitsky A. I., *Biodiversity of Crimea. Mammals*, 208 (SONAT, Simferopol, 2001).
38. Maksimov A. A., *Long-term fluctuations in the number of animals, their causes and prognosis*, 252 (Novosibirsk, 1984).
39. Forchhammer M. C., Stenseth N. C., Post E., Langvatn R., Population dynamics of Norwegian red deer: density-dependence and climatic variation. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, **265**, 341 (1998).
40. Mysterud A., Meisingset E. L., Veiberg V., Langvatn R., Solberg E. J., Loe L. E., Stenseth N. C., Monitoring population size of red deer *Cervus elaphus*: an evaluation of two types of census data from Norway, *Wildl. Biol.*, **13**, 285 (2007).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского  
Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 4. С. 268–274.

**УДК 546.661 + 547.77**

## ГЕТЕРОЛИГАНДНЫЙ КОМПЛЕКС ГАДОЛИНИЯ С ГИДРАЗОНАМИ 3-МЕТИЛ-1-ФЕНИЛ-4-ФОРМИЛПИРАЗОЛ-5-ОНА И 1,3,5-БЕНЗОЛТРИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ

*Шульгин В. Ф.<sup>1</sup>, Балуда Ю. И.<sup>1</sup>, Гусев А. Н.<sup>1</sup>, Кискин М. А.<sup>2</sup>, Еременко И. Л.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>*ФБГУН Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, Москва, Россия  
E-mail: shulvic@gmail.com*

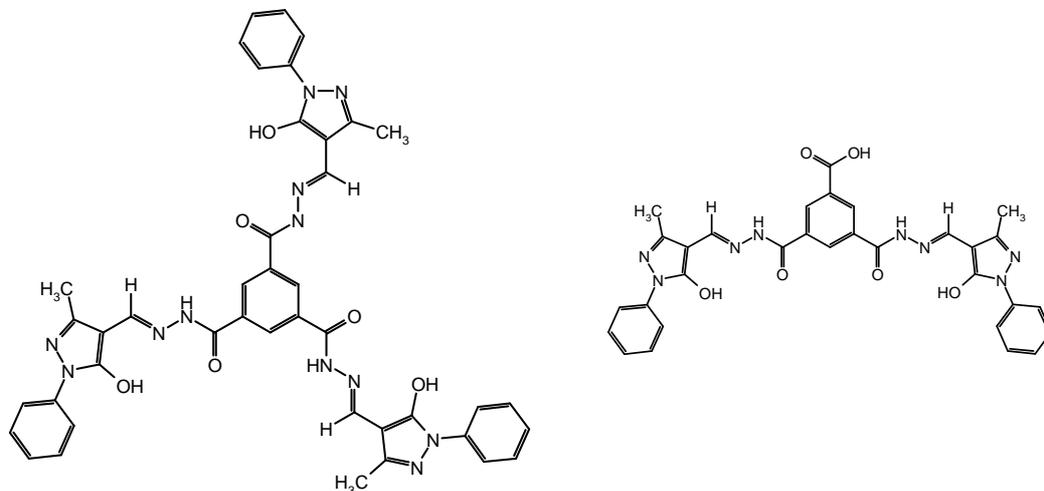
Описаны результаты исследования молекулярной структуры гетеролигандного комплекса гадолия с три- и дигидразоном 1,3,5-бензолтрикарбонической кислоты и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она ( $\text{H}_3\text{L}^1$  и  $\text{H}_3\text{L}^2$ ). Установлено, что комплекс состава  $\text{M}_3(\text{L}^1)(\text{HL}^2)_3$  имеет дискретное молекулярное строение и геометрию равностороннего треугольника, образованного катионами гадолия, связанными тринуклеирующим лигандом  $\text{L}^1$ . Бинуклеирующие лиганды  $\text{HL}^2$  расположены на гранях треугольника и попарно связывают катионы гадолия.

**Ключевые слова:** гидразон, 1,3,5-бензолтрикарбоническая кислота, 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-он, РСА.

### ВВЕДЕНИЕ

Металлокластеры на основе органических лигандов являются одними из важнейших объектов исследования современной координационной и супрамолекулярной химии. Интерес, который они представляют для специалистов, работающих в этих областях науки, обусловлен ярко выраженной тенденцией металл-лигандных систем к образованию комплексных соединений по принципу иерархической самосборки. Изучение закономерностей молекулярной самоорганизации на таких моделях перспективно для последующего их применения к процессам, происходящим в более сложных системах, в первую очередь в биомолекулах [1]. Наиболее подходящими моделями для решения подобных задач являются высокосимметричные олигомерные координационные соединения. Ранее нами были описаны спейсерированные комплексы лантанидов с ацилгидразонами 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она – геликатные биядерные комплексы состава  $\text{M}_2\text{L}_3$  на основе дигидразонов предельных дикарбонических кислот и псевдотетраэдрические тетраядерные комплексы состава  $\text{M}_4\text{L}_4$  на основе

тригидразона тимезиновой кислоты [2–5]. В настоящем сообщении описаны результаты исследования структуры гетеролигандного комплекса гадолиния с ди- и тригидразоном тимезиновой кислоты и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она ( $H_3L^1$  и  $H_3L^2$  соответственно):



### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Монокристаллы исследуемого соединения были получены по следующей методике. К суспензии 0,32 г смеси тригидразида 1,3,5-бензолтрикарбоновой кислоты и дигидразида 5-метоксикарбонил-1,3-бензолдикарбоновой кислоты (соотношение 1 к 2) в 15 мл ДМФА, нагретого до 65–70°C, добавили 0,77 г (3,81 ммоль) 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она и перемешивали смесь на магнитной мешалке в течение 30 мин. Затем добавили раствор 1,27 ммоль хлорида гадолиния в 15 мл этанола, 0,8 мл пиридина и продолжали перемешивание еще 30 мин. Реакционную смесь охладили до комнатной температуры, отфильтровали и оставили раствор для кристаллизации. Через несколько суток выделились кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного исследования. Кристаллы состава  $Gd_3C_{141}H_{105}N_{36}O_{24} \cdot 6DMF \cdot 5,5H_2O$  тригональные, пр. гр.  $R\bar{3}$ ,  $a = 30,8057(9)$ ;  $b = 30,8057(9)$ ;  $c = 39,117(2)$  Å;  $V = 32148(3)$  Å<sup>3</sup>,  $M = 3624,95$  г/моль,  $Z = 6$ ,  $d_{расч.} = 1,123$  г·см<sup>-3</sup>,  $\mu = 0,984$  мм<sup>-1</sup>,  $F(000) = 11076$ . Рентгеноструктурный эксперимент проведен при температуре 150 К на дифрактометре Bruker Smart APEX II, оборудованном CCD-детектором и источником монохроматического излучения ( $MoK_{\alpha}$ ,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор) с использованием стандартной процедуры [6]. Структура расшифрована прямым методом и уточнена в полноматричном анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Атомы водорода ацилдигидразона генерированы геометрически и уточнены в модели жесткого тела. Расчеты проведены с использованием программ SHELXL97 [7]. Вследствие разупорядоченности значительной части сольватных молекул воды рентгеноструктурные данные были скорректированы с помощью процедуры

“Squeeze” программы PLATON [8]. Всего было собрано 63658 отражений, из которых 15099 являются симметрически независимыми (R-фактор усреднения 0,1432). В уточнении использовано 6528 отражений с  $I > 2\sigma(I)$  (763 уточняемых параметра). Окончательные значения факторов расхожимости  $R_1 = 0,0671$  и  $R_w = 0,1330$ ,  $GOOF = 0,923$ . Остаточная электронная плотность из разностного ряда Фурье 2,779 и  $-0,932 \text{ e}/\text{\AA}^3$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования было установлено, что полученный комплекс имеет состав  $\text{Gd}_3(\text{L}^1)(\text{HL}^2)_3$  (где  $\text{H}_3\text{L}^1$  – тригидразон 1,3,5-бензолтрикарбоновой кислоты,  $\text{H}_3\text{L}^2$  – дигидразон 5-карбоксо-1,3-бензолдикарбоновой кислоты) и построен из дискретных кластеров треугольного строения (рис. 1). Центральные атомы связаны тритопным анионом тригидразона тримезиновой кислоты, центральное бензольное кольцо которого расположено под плоскостью треугольника на расстоянии 1,72 Å, а среднеквадратичные плоскости, образованные хелатными циклами, развернуты по отношению к плоскости бензольного кольца на угол 37,6° (рис. 2). Бензольное кольцо фенильного заместителя и пиразольного кольца практически компланарны. Формилпиразольный фрагмент лиганда координирован в депротонированной енольной форме, в то время как гидразонный фрагмент сохраняет при координации молекулярное строение. Соответственно, длины связей углерод-кислород заметно отличаются: C7-O1 1,28(1) и C12-O2 1,24(1) Å. Отличаются также длины связей углерод-азот: C11-N3 1,28(1) Å и C12-N4 1,37(1) Å, что указывает на слабую делокализацию двойных связей в пределах хелатного узла, характерную для координационных соединений ацилгидразонов. В то же время связь N3-N4 1,39(1) Å несколько укорочена по сравнению с одинарной связью азот-азот пиразольного кольца – N1-N2 1,40(1) Å.

Аналогичный способ координации центрального атома реализован молекулярными дианионами дигидразонов тримезиновой кислоты, которые расположены на сторонах равностороннего треугольника и связывают катионы гадолиния попарно (рис. 3). При этом центральные бензольные кольца разупорядочены по двум позициям, в которых их плоскости ориентированы под углом 64°. Хелатные циклы заметно изломаны и отклоняются от плоскости пиразольного кольца. Бензольное кольцо фенильного заместителя развернуто относительно плоскости гетероцикла на угол порядка 20°. Карбоксильная группа дигидразида некоординирована и протонирована, длины связей углерод-кислород практически выровнены и составляют 1,25(1) и 1,26(1) Å. Длины связей в пределах хелатофорной группировки дитопных и тритопных лигандов совпадают в пределах ошибки измерения. Длины связей и валентные углы в пределах органических лигандов близки к обычным значениям [9].

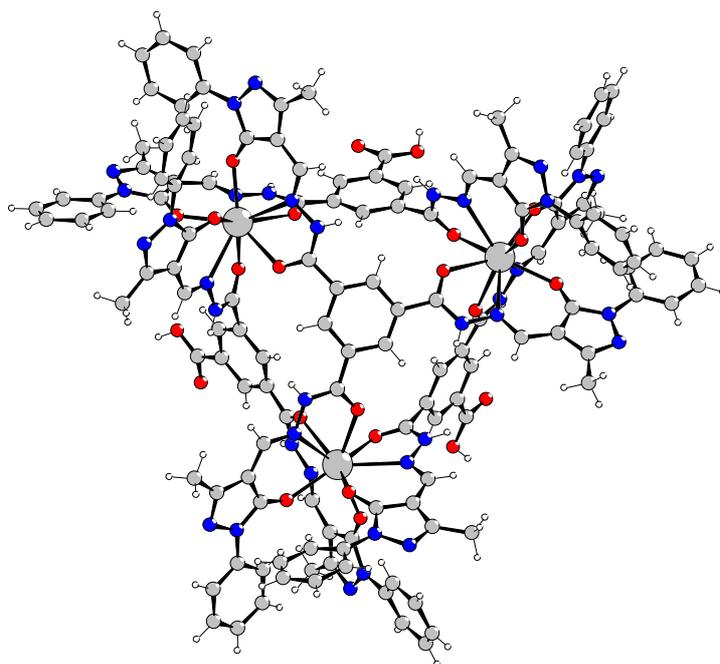


Рис. 1. Общий вид молекулы Gd<sub>3</sub>(L<sup>1</sup>)(HL<sup>2</sup>)<sub>3</sub>

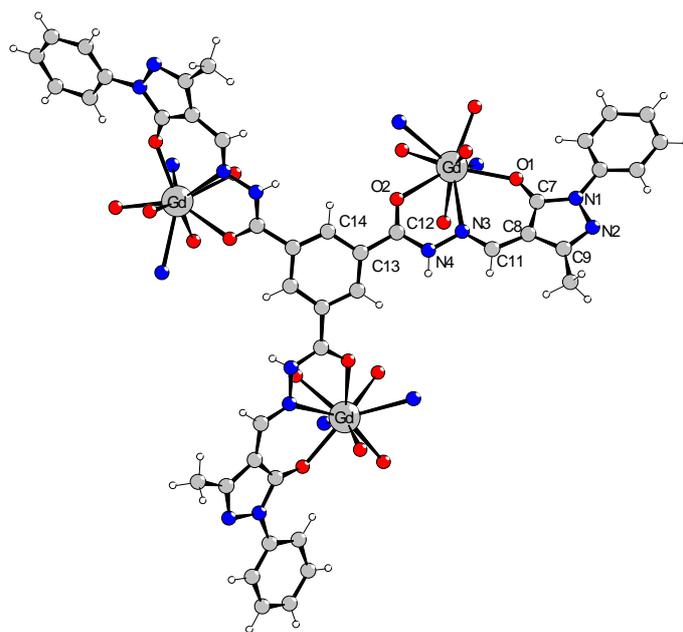


Рис. 2. Строение тритопного лиганда и способ связывания трех координационных полиэдров

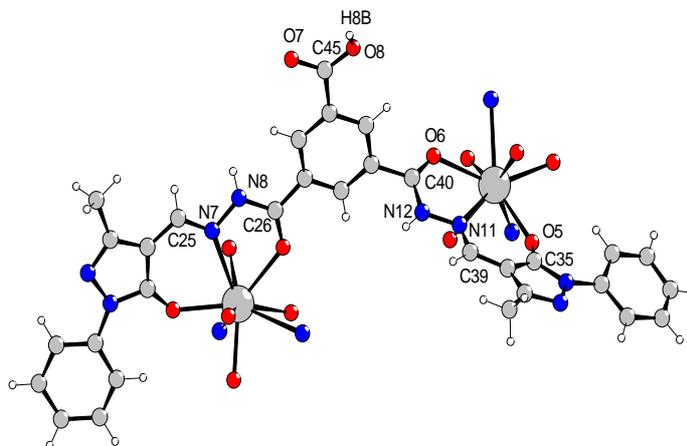


Рис. 3. Строение дитопного лиганда и способ попарного связывания координационных полиэдров

Атомы гадолиния связаны осью симметрии третьего порядка, расстояния Gd...Gd составляют 9,84 Å, координационное число равно 9. Геометрия координационного полиэдра может быть описана как трехшапочная тригональная призма (рис. 4). Молекулы диметилформамида и воды не координированы и заполняют полости кристаллической структуры.

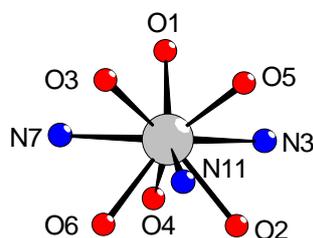


Рис. 4. Строение координационного полиэдра катиона гадолиния(III) и длины связей в его пределах: Gd-O5 2,316(5); Gd-O1 2,320(5); Gd-O3 2,326(5); Gd-O2 2,421(5); Gd-O4 2,428(5); Gd-O6 2,436(5); Gd-N7 2,624(7); Gd-N11 2,627(7); Gd-N3 2,671(6) Å.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезировано координационное соединение гадолиния с три- и дигидразоном 1,3,5-бензолтрикарбоновой кислоты и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она состава  $M_3(L^1)(HL^2)_3$  с тригональным расположением центральных атомов.

- Показано, что триацилгидразон выступает в роли тринуклеирующего лиганда; каждая молекула диацилгидразона является бинуклеирующей и содержит свободную карбоксильную группу.

*Исследование проведено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 15-03-02769. Рентгеноструктурный анализ выполнен на оборудовании Центра коллективного пользования ИОНХ РАН.*

#### Список литературы

- Caulder D. L. The rational design of high symmetry coordination clusters / D. L. Caulder, K. Raymond // Dalton Trans. 1999, P. 1185–1200.
- Координационные соединения самария с ацилдигидразонами предельных дикарбоновых кислот и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она / В. Ф. Шульгин, З. З. Бекирова, О. В. Конник [и др.] // Журн. неорган. химии. – 2014. – Т. 59, № 5. – С. 606–611.
- Координационные соединения неодима с ацилдигидразонами предельных дикарбоновых кислот и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она / В. Ф. Шульгин, З. З. Бекирова, О. В. Конник [и др.] // Координац. химия. – 2014. – Т. 40, № 6. – С. 374–378.
- Координационные соединения неодима, самария и европия с ацилдигидразонами имино-, оксо- и тиодикусусных кислот и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она / О. В. Конник, З. З. Бекирова, В. Ф. Шульгин [и др.] // Журн. неорган. химии. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 462–469.
- Координационное соединение диспрозия(III) с ацилгидразоном 1,3,5-бензолтрикарбоновой кислоты и 3-метил-1-фенил-4-формилпиразол-5-она / Шульгин В. Ф., Гусев А. Н., Балуда Ю. И. [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 93–99.
- SMART (Control) and SAINT (Integration) Software, Version 5.0, Bruker AXS Inc., Madison(WI), 1997.
- Sheldrick G. M. A short history of SHELX/ G. M. Sheldrick // Acta Crystallogr. – 2008. – V. A64. – P. 112–122.
- Spek A. L. Structure validation in chemical crystallography / A. L. Spek // Acta Crystallogr. – 2009. – Vol. D65. – P. 148–155.
- Tables of lengths determined by X-ray and neutron diffraction. Part 1. Bond lengths in organic compounds / F. H. Allen, O. Kennard, D. G. Watson [et al.] // J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2 – 1987. – Pt. 2, No 12. – S. 1–19.

### GADOLINIUM(III) MIXED-LIGAND COMPLEX WITH HYDRAZONES OF 1,3,5-BENZENETRICARBOXYLIC ACID AND 4-FORMYL-3-METHYL-1-PHENYLPYRAZOL-5-ONE

*Shul'gin V. F.<sup>1</sup>, Baluda Yu. I.<sup>1</sup>, Gusev A. N.<sup>1</sup>, Kiskin M. A.<sup>2</sup>, Eremenko I. L.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Kurnakov Institute of general and inorganic chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*E-mail: shulvic@gmail.com*

Gadolinium(III) mixed-ligand complex with hydrazones of 1,3,5-benzenetricarboxylic acid and 4-formyl-3-methyl-1-phenylpyrazol-5-one was obtained by the next procedure. 4-Formyl-3-methyl-1-phenylpyrazol-5-one (0,77 g, 3,81 mmol) had

been added into suspension of 0.32 g of the mixture (ratio 1:2) of 1,3,5-benzenetricarboxylic acid trihydrazide and 5-methoxycarbonyl-1,3-benzenedicarboxylic acid dihydrazide in 15 mL DMFA heated to 65-70 °C. This mixture was stirred on 30 min, and then 1.27 mmol of gadolinium chloride in ethanol (15 mL) and 0.8 mL of pyridine were added. The reaction mixture was stirred on 30 min, cooled to room temperature and filtered. In few days from resulting solution formed trigonal X-ray suitable crystals with composition  $Gd_3C_{141}H_{105}N_{36}O_{24} \cdot 6DMF \cdot 5.5H_2O$ .

The crystal structure was solved by the direct methods and refined by means of Bruker Smart APEX II diffractometer (150 K, using  $MoK_{\alpha}$  radiation; wavelength 0.71073 Å) for 15099 unique reflections. Space group  $R\bar{3}$ ,  $a = 30.8057(9)$ ;  $b = 30.8057(9)$ ;  $c = 39.117(2)$  Å;  $V = 32148(3)$  Å<sup>3</sup>,  $M = 3624.95$  g/mol,  $Z = 6$ ,  $d_{calc} = 1.123$  g·cm<sup>-3</sup>,  $\mu = 0.984$  mm<sup>-1</sup>,  $F(000) = 11076$ ;  $R_1 = 0.0671$  и  $R_w = 0.1330$ ,  $GOOF = 0.923$ .

The molecule of complex  $Gd_3(L^1)(HL^2)_3$  ( $H_3L^1$  - 1,3,5-benzenetricarboxylic acid trihydrazone;  $H_3L^2$  - 5-carboxy-1,3-benzenedicarboxylic acid dihydrazone) is based on Gd triangle with distances Gd...Gd 9.838 Å. The acyltrihydrazone is coordinated as a tritopic ligand and placed under basal plane; three acyldihydrazones occupy the faces and are bitopic. The pyrazole moieties of the ligands of both types are coordinated in deprotonated enol form; the hydrazone moieties are coordinated in molecular form. Each of the acyldihydrazone molecules has one protonated non-coordinated carboxyl group. Molecules of solvents – N,N-dimethylformamide and water, are non-coordinated and fill the cavities of the crystal lattice. The geometry of gadolinium coordination polyhedron can be considered as tricapped trigonal prism, which consists of combination of  $DyN_3$  triangle and  $DyO_6$  trigonal prism.

**Keywords:** hydrazone, 1,3,5-benzenetricarboxylic acid, 4-formyl-3-methyl-1-phenylpyrazol-5-one, X-Ray study.

## References

1. Caulder D. L., Raymond K. The rational design of high symmetry coordination clusters, *Dalton Trans.*, 1185 (1999).
2. Shul'gin V. F., Bekirova Z. Z., Konnic O. V. [et al.] Samarium complexes of saturated carboxylic acids and 3-methyl-1-phenyl-4-formylpyrazol-5-one acyl bishydrazones, *Russ. J. of Inorg. Chem.*, **59**, 5, 606 (2014).
3. Shul'gin V. F., Bekirova Z. Z., Konnic O. V. [et al.] Neodymium complexes of saturated bishydrazones and 3-methyl-1-phenyl-4-formylpyrazol-5-one acyl bishydrazones, *Russ. J. of Coord. Chem.*, **40**, 6, 374 (2014).
4. Konnic O. V., Bekirova Z. Z., Shul'gin V. F. [et al.] Neodymium, Samarium and Europium complexes with acyl bishydrazones of imino-, oxo-, and thioacetic acids and 3-methyl-1-phenyl-4-formylpyrazol-5-one, *Russ. J. of Inorg. Chem.*, **59**, 4, 462 (2014).
5. Shul'gi V. F., Gusev A. N., Baluda Yu. I. [et al.] Dysprosium(III) complex with 1,3,5-benzenetricarboxylic acid and 3-methyl-1-phenyl-4-formylpyrazol-5-one acylhydrazone, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology, chemistry*, **2(68)**, 2, 93 (2016).
6. SMART (Control) and SAINT (Integration) Software, Version 5.0, Bruker AXS Inc., Madison(WI), 1997.
7. Sheldrick G. M. A short history of SHELX, *Acta Crystallogr.*, **A64**, 112 (2008).
8. Spek A. L. Structure validation in chemical crystallography, *Acta Crystallogr.*, **D65**, 148 (2009).
9. Allen F. H., Kennard O., Watson D. G. [et al.] Tables of lengths determined by X-ray and neutron diffraction. Part 1. Bond lengths in organic compounds, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2*, **2**, 12, 1 (1987).

УДК 547.918:547.757:543.42

## СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС МОНОАММОНИЙНОЙ СОЛИ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ (ГЛИЦИРАМА) С ТРИПТОФАНОМ

Яковишин Л. А.<sup>1</sup>, Гришкова В. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Получен новый молекулярный комплекс состава 1:1, включающий моноаммонийную соль глицирризиновой кислоты (глицирам, GC) и *L*-триптофан (Тгр). Методом спектрофотометрии исследовано взаимодействие GC с Тгр в водных растворах при pH 7,2. Комплекс имеет константу устойчивости  $K_{GC-Тгр}=(4,8\pm 0,2)\cdot 10^4$  М<sup>-1</sup>. GC формирует комплекс с Тгр при участии ионных и гидрофобных взаимодействий, что было установлено методом ИК-спектроскопии.

**Ключевые слова:** тритерпеновые гликозиды, глицирризиновая кислота, глицирам, триптофан, супрамолекулярный комплекс, спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, константа устойчивости.

### ВВЕДЕНИЕ

*L*-Триптофан (Тгр; рис. 1) – гидрофобная незаменимая аминокислота, превращающаяся в серотонин, триптамин и другие важные физиологически активные вещества. Тгр используется в качестве антидепрессанта и анксиолитика. Его назначают при алкогольной и наркотической интоксикации, бессоннице и расстройствах приема пищи. Остаток Тгр входит в состав действующих веществ ряда синтетических пептидных препаратов [1, 2].

Сейчас активно изучается молекулярное капсулирование различных биомолекул и тритерпеновых гликозидов, т. к. оно может быть перспективным для современного драг-дизайна [3, 4]. Ранее были получены молекулярные комплексы Тгр с тритерпеновыми гликозидами плюща (3-*O*- $\alpha$ -*L*-рамнопиранозил-(1→2)-*O*- $\alpha$ -*L*-арабинопиранозидом хедерагенина и его 28-*O*- $\alpha$ -*L*-рамнопиранозил-(1→4)-*O*- $\beta$ -*D*-глюкопиранозил-(1→6)-*O*- $\beta$ -*D*-глюкопиранозидовым эфиром) [5, 6]. Рассмотрена возможность комплексообразования Тгр со стероидными гликозидами [7, 8]. При этом установлено, что Тгр не образует комплексов с биозидом и триозидом неотигогенина, но дает их с биозидом гитогенина (петуниозидом D). Получены комплексы сердечных гликозидов дигоксина и К-строфантина- $\beta$  с Тгр и тройные комплексы, содержащие дополнительно катионы Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> [9].

Синтезированы молекулярные комплексы глицирризиновой кислоты (3-*O*- $\beta$ -*D*-глюкуронопиранозил-(1→2)-*O*- $\beta$ -*D*-глюкуронопиранозид глицирретиновой кислоты, GA) и ее моноаммонийной соли (глицирама, GC; рис. 1) с различными

веществами [3, 4, 10–15]. ГА является главным тритерпеновым гликозидом корней солодки *Glycyrrhiza glabra* L. Однако особенности межмолекулярного взаимодействия Трп с GC не были рассмотрены. С целью расширения сведений о комплексах тритерпеновых гликозидов с биологически активными веществами нами получен комплекс GC–Трп. В настоящей статье приведены результаты его спектрофотометрического и ИК-спектроскопического анализа.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образец GC фирмы Calbiochem (США). Комплекс GC с Трп препаративно получали жидкофазным способом. Для этого смешивали растворы, содержащие по 1 ммоль GC и 1 ммоль Трп (растворитель – 70 % водный этанол-хлороформ, взятые в соотношении 3:1 по объему). Смесь выдерживали при 50 °С в течение 1,5 ч при постоянном перемешивании. Органические растворители отгоняли в вакууме.

УФ-спектры получены при температуре 26 °С на спектрофотометре Unicо UV-Vis 4802 (США) в кварцевых кюветах ( $l=1$  см). Для составления изомолярной серии использовали  $10^{-4}$  М водные растворы GC и Трп (рН 7,2, фосфатный буфер  $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{--NaH}_2\text{PO}_4$ ). Полученные смеси выдерживали при температуре 26 °С в течение 40 мин. при постоянном перемешивании. Для определения состава каждого комплекса и константы его устойчивости  $K$  было проведено 5 независимых экспериментов. Погрешность определения  $K$  не превышала 10 %. Расчет  $K$  выполнен при  $\lambda = 258$  нм.

ИК-спектры сняты с твердых образцов на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Россия) с универсальной оптической приставкой НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения). Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaIR 3.5.

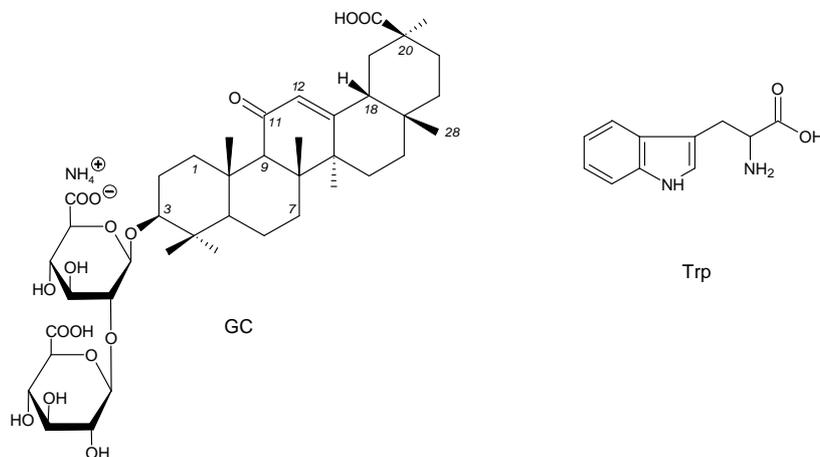


Рис. 1.Monoаммонийная соль глицирризиновой кислоты (глицирам, GC) и триптофан (Trp).

*ИК-спектр GC* ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3204 (OH, NH), 2931 (CH), 2873 (CH), 1715 (C=O), 1698 (C=O), 1646 (C(11)=O, C=C), 1590 (COO<sup>-</sup>), 1455 (CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>), 1410 (COO<sup>-</sup>), 1421 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 1387 (CH), 1362 (CH), 1349 (CH), 1306 (CH), 1260 (CH), 1212 (CH), 1164 (C–O–C, C–OH), 1074 (C–O–C, C–OH), 1039 (C–O–C, C–OH), 980 (=CH).

*ИК-спектр Trp* ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3401 (NH<sub>инд</sub>), 3076 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 3017 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, CH), 2977 (CH), 2847 (CH), 2724 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 2519 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 2065 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1661 (индольное кольцо), 1634 (аминокислотная полоса I – NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1583 (COO<sup>-</sup>), 1557 (аминокислотная полоса II – NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1540 (индольное кольцо), 1456 (индольное кольцо), 1410 (индольное кольцо, COO<sup>-</sup>), 1354 (C=C, CH<sub>инд</sub>), 1229 (CH<sub>инд</sub>), 1156 (CH<sub>инд</sub>), 1145 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1116 (CH<sub>инд</sub>), 1098 (CN), 1076 (CH<sub>инд</sub>, CCN, NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1053 (CH<sub>инд</sub>), 1006 (индольное кольцо), 986 (индольное кольцо), 741 (CH<sub>инд</sub>, COO<sup>-</sup>).

*ИК-спектр комплекса GC с Trp* ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3401 (NH<sub>инд</sub>), 3243 (OH, NH), 3078 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 3039 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, CH), 2949 (CH), 2859 (CH), 2840 (CH), 2728 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 2539 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 2065 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1715 (C=O), 1698 (C=O), 1661 (индольное кольцо), 1647 (C(11)=O, C=C), 1636 (аминокислотная полоса I – NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1585 (COO<sup>-</sup>), 1559 (аминокислотная полоса II – NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1541 (индольное кольцо), 1456 (индольное кольцо, CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>), 1412 (индольное кольцо, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, COO<sup>-</sup>), 1388 (CH), 1355 (C=C, CH, CH<sub>инд</sub>), 1229 (CH<sub>инд</sub>), 1214 (CH), 1156 (CH<sub>инд</sub>, C–O–C, C–OH), 1146 (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1116 (CH<sub>инд</sub>), 1097 (CN), , 1076 (CH<sub>инд</sub>, CCN, NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), 1031 (C–O–C, C–OH), 985 (индольное кольцо, =CH), 742 (CH<sub>инд</sub>, COO<sup>-</sup>).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состав комплекса GC с Trp, равный 1:1, определен методом изомолярных серий. Изомолярная кривая приведена на рис. 2. Комплексы моно- и бисдесмозидных гликозидов плюща с Trp имели аналогичный состав [5, 6]. Спектр поглощения изомолярной серии GC с Trp обладает изобестическими точками при 232 и 274 нм (рис. 3).

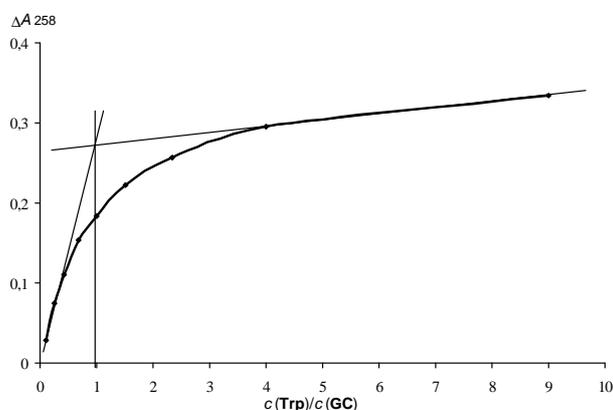
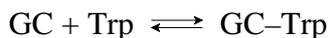


Рис. 2. Зависимость изменения оптической плотности  $\Delta A$  от соотношения компонентов изомолярной серии при  $\lambda=258$  нм ( $c(\text{GC})+c(\text{Trp})=10^{-4}$  М, pH 7,2).

Между GC и Trp устанавливается равновесие вида:



$$K_{\text{GC-Trp}} = \frac{[\text{GC-Trp}]}{[\text{GC}][\text{Trp}]}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{GC-Trp}}$  – константа устойчивости комплекса.

$K_{\text{GC-Trp}}$ , равная  $(4,8 \pm 0,2) \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$ , была рассчитана по методу А. К. Бабко на основе изомолярной кривой по формуле 2 [16]. Значение  $K_{\text{GC-Trp}}$  хорошо согласуется с литературными данными, т. к. у ранее полученных комплексов GA и GC с биологически активными молекулами, имеющими состав 1:1,  $K$  имели порядок  $10^3 - 10^5 \text{ M}^{-1}$  [3, 4, 10–15]. Считается, что высокая устойчивость молекулярных комплексов тритерпеновых гликозидов с биомолекулами и фармацевтическими субстанциями может быть объяснена наличием гидрофобных взаимодействий между веществами [17, 18], а также энтропийным фактором, связанным с процессами десольватации [19].

$$K = \frac{\Delta A_0 \Delta A_1}{c(\Delta A_0 - \Delta A_1)^2}, \quad (2)$$

где  $c$  – суммарная концентрация веществ, равная  $10^{-4} \text{ M}$ ,  $\Delta A_0$  – изменение оптической плотности, соответствующее комплексу при полном отсутствии диссоциации, а  $\Delta A_1$  – изменение оптической плотности, соответствующее значению на фактической кривой.

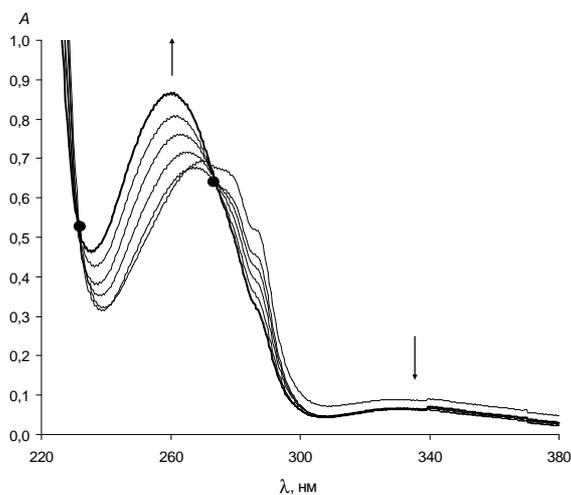


Рис. 3. Кривые поглощения изомолярной серии растворов ( $c(\text{GC})+c(\text{Trp})=10^{-4} \text{ M}$ , pH 7,2).

Взаимодействие GC с Trp вызывает в ИК-спектрах сдвиги ряда полос поглощения. Так, например, валентные колебания связей OH у GC в комплексе поглощают при  $3243 \text{ см}^{-1}$ , что подтверждает наличие водородных связей. По сравнению с индивидуальным GC смещение полосы поглощения составило  $+39 \text{ см}^{-1}$  (рис. 4). Кроме того, поглощение связей CO в C–O–C и C–OH у GC в комплексе проявляется в виде интенсивного пика при  $1031 \text{ см}^{-1}$ , т.е.  $\Delta\nu$  составило  $-8 \text{ см}^{-1}$ . Положение полосы поглощения NH индольного кольца Trp при  $3401 \text{ см}^{-1}$  не изменяется. Полосы поглощения C=O карбоксильных групп GC также не сдвигаются. Возможно, что они не принимают участия в комплексообразовании.

Отмечены смещения полос поглощения  $\text{NH}_3^+$  у Trp ( $3017 \rightarrow 3039 \text{ см}^{-1}$  и  $2519 \rightarrow 2539 \text{ см}^{-1}$ ). Для CO карбоксилата GC  $\Delta\nu = -5 \text{ см}^{-1}$ . Полученные изменения в ИК-спектрах могут указывать на ионные взаимодействия цвиттер-иона Trp с  $\text{COO}^-$  GC.

При межмолекулярном взаимодействии также имеют место гидрофобные взаимодействия Trp с неполярным агликоном гликозида. В результате этого наблюдается смещение некоторых полос поглощения связей CH: у Trp  $2847 \rightarrow 2840 \text{ см}^{-1}$ , а у GC  $2931 \rightarrow 2949$  и  $2873 \rightarrow 2859 \text{ см}^{-1}$ .

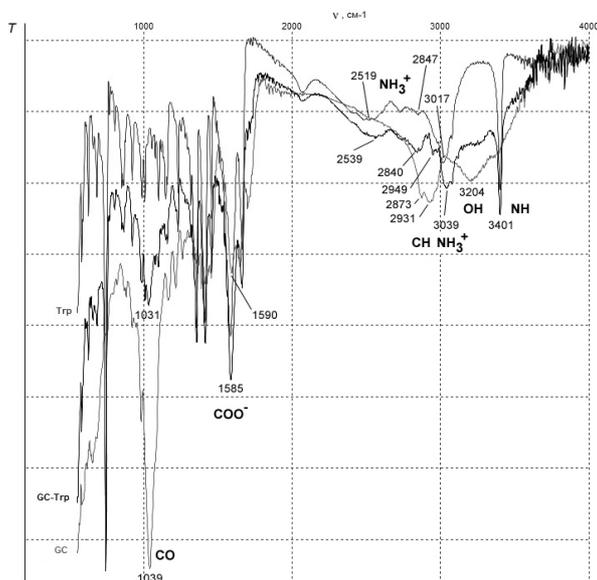


Рис. 4. ИК-спектры GC, Trp и их молекулярного комплекса.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые получен молекулярный комплекс GC с Trp состава 1:1. Константа устойчивости комплекса  $K_{\text{GC-Trp}} = (4,8 \pm 0,2) \cdot 10^4 \text{ М}^{-1}$  определена на основе изомолярной кривой.

2. Данные ИК-спектроскопии указывают на ионные взаимодействия цвиттер-иона Trp с COO<sup>-</sup> GC. При взаимодействии GC с Trp имеют место гидрофобные контакты, в результате которых смещаются некоторые полосы поглощения связей СН.
3. Положение полос поглощения NH индольного кольца Trp и связей C=O карбоксильных групп GC при комплексообразовании не изменяется.

#### Список литературы

1. Sandyk R. L-Tryptophan in neuropsychiatric disorders: a review / R. Sandyk // Int. J. Neurosci. – 1992. – Vol. 67, № 1–4. – P. 127–144.
2. Коробов Н. В. Отечественные инновационные лекарственные средства: статус синтетических пептидных препаратов / Н. В. Коробов, К. А. Биченова, А. Н. Яворский // Мед. технол. Оценка и выбор. – 2011. – № 1. – С. 98–102.
3. Tolstikova T. G. The complexes of drugs with carbohydrate-containing plant metabolites as pharmacologically promising agents / T. G. Tolstikova, M. V. Khvostov, A. O. Bryzgalov // Mini Rev. Med. Chem. – 2009. – Vol. 9, № 11. – P. 1317–1328.
4. Yakovishin L. A. Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets // Studies in natural products chemistry; ed. Attatur-Rahman. – Amsterdam: Elsevier, 2017. – Vol. 55. – Chapter 11. – P. 351–383.
5. Молекулярное комплексообразование сапонинов плюща с L-триптофаном / Л. А. Яковшин, А. В. Лекарь, С. Н. Борисенко [и др.] // Химия растит. сырья. – 2011. – № 4. – С. 65–70.
6. Молекулярное комплексообразование тритерпеновых гликозидов с триптофаном в водных растворах / Л. А. Яковшин, В. И. Гришкoveц, Н. В. Епишина, И. С. Куртаметов // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2010. – Т. 23 (62), № 2. – С. 270–275.
7. Пилипенко В. В. Взаємодія стероїдних глікозидів з амінокислотами: дослідження методом плазменно-десорбційної мас-спектрометрії / В. В. Пилипенко, С. О. Аксьонов, О. М. Калінкевич [та ін.] // Biopolym. Cell. – 2000. – Т. 16, № 3. – С. 212–219.
8. Pilipenko V. V. <sup>252</sup>Cf Plasma desorption mass spectrometric study of interactions of steroid glycosides with amino acids / V. V. Pilipenko, L. F. Sukhodub, S. A. Aksyonov [et al.] // Rapid Commun. Mass Spectrom. – 2000. – Vol. 14. – P. 819–823.
9. Горчакова Н. А. Комплексообразование сердечных гликозидов с аминокислотами и щелочноземельными металлами / Н. А. Горчакова, Т. Г. Самарская, В. А. Самарский [и др.] // Экспер. и клинич. фармак. – 1992. – Т. 55, № 2. – С. 106–109.
10. Спектрофотометрія супрамолекулярних комплексів тритерпенових глікозидів плюща і солодцю з левоміцетином (хлорамфеніколом) / Л. О. Яковішин, О. М. Корж, О. Д. Дегтяр, А. В. Клименко // Ukr. Bioorg. Acta. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 33–36.
11. Молекулярные комплексы тритерпеновых гликозидов плюща и солодки с доксорубицином / Л. А. Яковшин, В. И. Гришкoveц, А. В. Клименко [и др.] // Хим.-фарм. журн. – 2014. – Т. 48, № 6. – С. 37–40.
12. Комплексы β-глицирризиновой кислоты с нестероидными противовоспалительными средствами как новые транспортные формы / Г. А. Толстикова, Л. А. Балтина, Ю. И. Муринов [и др.] // Хим.-фарм. журн. – 1991. – Т. 25, № 2. – С. 29–32.
13. Далимов Д. Н. Молекулярные комплексы моноаммониевой соли глицирризиновой кислоты с некоторыми лекарственными средствами и их интерферониндуцирующая активность / Д. Н. Далимов, Ю. Т. Исаев, А. М. Сайиткулов // Химия природ. соедин. – 2001. – № 2. – С. 132–134.
14. Nafisi S. A comparative study of glycyrrhizin and glycyrrhetic acid complexes interactions with DNA and RNA / S. Nafisi, F. Manouchehri, M. Bonsaii // Iranian J. Org. Chem. – 2012. – Vol. 4, № 2. – P. 841–849.

15. Izutani Y. Aggregation property of glycyrrhizic acid and its interaction with cyclodextrins analyzed by dynamic light scattering, isothermal titration calorimetry, and NMR / Y. Izutani, K. Kanaori, M. Oda // *Carbohydr. Res.* – 2014. – Vol. 392. – P. 25–30.
16. Бабко А. К. Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах / А. К. Бабко. – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 328 с.
17. Gluschenko O. Yu. NMR relaxation study of cholesterol binding with plant metabolites / O. Yu. Gluschenko, N. E. Polyakov, T. V. Leshina // *Appl. Magn. Reson.* – 2011. – Vol. 41, № 2. – P. 283–294.
18. Study of the interaction between monoammonium glycyrrhizinate and bovine serum albumin / Y.-J. Hu, Y. Liu, J.-B. Wang [et al.] // *J. Pharm. Biomed. Anal.* – 2004. – Vol. 36, № 4. – P. 915–919.
19. Комплексообразование глицирризиновой кислоты с 5-нитро-8-оксихинолином и тринитроглицерином / В. Н. Майстренко, В. Н. Гусаков, И. А. Русаков [и др.] // *Докл. Акад. наук.* – 1994. – Т. 335, № 3. – С. 329–331.

## SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF MONOAMMONIUM SALT OF GLYCYRRHIZIC ACID (GLYCYRAM) WITH TRYPTOPHAN

*Yakovishin L. A.<sup>1</sup>, Grishkovets V. I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

<sup>2</sup>*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

*E-mail: chemseventu@rambler.ru*

A new supramolecular complex of triterpene glycoside glycyram (monoammonium salt of glycyrrhizic acid (3-*O*-β-*D*-glucuronopyranosyl-(1→2)-*O*-β-*D*-glucuronopyranoside of 18β-glycyrrhetic acid), GC) with hydrophobic essential amino acid *L*-tryptophan (Trp) was prepared.

The complexation of GC with Trp in aqueous solution at pH 7.2 (phosphate buffer Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) was investigated by spectrophotometric method. Absorption spectrum of isomolar series for GC-Trp mixture has isobestic points at 232 and 274 nm. It was shown that GC and Trp forms a 1:1 complex, having a stability constant  $K_{GC-Trp} = (4.8 \pm 0.2) \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$ . In the previously obtained 1:1 complexes of glycyrrhizic acid and GC with biologically active molecules, stability constants were of the order of  $10^3$ – $10^5 \text{ M}^{-1}$ . Molecular complex of GC with Trp was studied by IR spectroscopy. The changes in the IR spectra were indicated to presence of ionic interactions of the zwitter-ion Trp with GC (NH<sub>3</sub><sup>+</sup> OOC) and hydrophobic contacts.

**Keywords:** triterpene glycosides, glycyrrhizic acid, glycyram, tryptophan, supramolecular complex, spectrophotometry, IR spectroscopy, stability constant.

### References

1. Sandyk R., *L*-Tryptophan in neuropsychiatric disorders: a review, *Int. J. Neurosci.*, **67** (1-4), 127 (1992).
2. Korobov N. V., Bichenova K. A., Yavorsky A. N., Domestic innovative drugs: synthetic peptides prospects, *Med. technol. Assessment and choice*, 1, 98 (2011). (*in Russ.*).
3. Tolstikova T. G., Khvostov M. V., Bryzgalov A. O., The complexes of drugs with carbohydrate-containing plant metabolites as pharmacologically promising agents, *Mini Rev. Med. Chem.*, **9** (11), 1317 (2009).

4. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules, in *Studies in natural products chemistry*, edited by Atta-ur-Rahman, **55**, 351 (Elsevier, Amsterdam, 2017).
5. Yakovishin L. A., Lekar A. V., Borisenko S. N., Vetrova E. V., Borisenko N. I., Grishkovets V. I., Molecular complexation of ivy saponins with *L*-tryptophan, *Khim. Rastit. Syr'ja*, **4**, 65 (2011). (*in Russ.*).
6. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Epishina N. V., Kurtametov I. S., Molecular complexation of the triterpene glycosides with tryptophan in water solutions, *Sci. Not. Taurida V. I. Vernadsky Nat. Univ., ser. Biol. Chem.*, **23** (2), 270 (2010). (*in Russ.*).
7. Pilipenko V. V., Aksyonov S. A., Kalinkevich A. N., Sukhodub L. F., PDMS study of the steroid glycosides interaction with amino acids, *Biopolym. Cell*, **16** (3), 212 (2000). (*in Ukr.*).
8. Pilipenko V. V., Sukhodub L. F., Aksyonov S. A., Kalinkevich A. N., Kintia P. K., <sup>252</sup>Cf Plasma desorption mass spectrometric study of interactions of steroid glycosides with amino acids, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **14**, 819 (2000).
9. Gorchakova N. A., Samarskaya T. G., Samarsky V. A., Lezina G. G., Grischenko L. I., Babak V. V., Complexation of cardiac glycosides with amino acids and alkaline earth metals, *Eksp. Klin. Farmakol.*, **55** (2), 106 (1992). (*in Russ.*).
10. Yakovishin L. A., Korzh E. N., Degtyar A. D., Klimenko A. V., Spectrophotometry of the supramolecular complexes of ivy and licorice triterpene glycosides with laevomycesin (chloramphenicol), *Ukr. Bioorg. Acta*, **11** (1), 33 (2013). (*in Ukr.*).
11. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Klimenko A. V., Degtyar A. D., Kuchmenko O. B., Molecular complexes of ivy and licorice triterpene glycosides with doxorubicin, *Khim.-Farm. Zhurn.*, **48** (6), 37 (2014). (*in Russ.*).
12. Tolstikov G. A., Baltina L. A., Murinov Yu. I., Davydova V. A., Tolstikova T. G., Bondarev A. I., Zarudin F. S., Lazareva D. N., Complexes of  $\beta$ -glycyrrhizinic acid with nonsteroidal antiinflammatory drugs as novel transport forms, *Khim.-Farm. Zhurn.*, **25** (2), 29 (1991). (*in Russ.*).
13. Dalimov D. N., Isaev Yu. T., Saiitkulov A. M., Molecular complexes of ammonium glycyrrhizate with certain medicinal agents and their interferon-inducing activity, *Khim. Prirod. Soedin.*, **2**, 132 (2001). (*in Russ.*).
14. Nafisi S., Manouchehri F., Bonsaii M., A comparative study of glycyrrhizin and glycyrrhetic acid complexes interactions with DNA and RNA, *Iranian J. Org. Chem.*, **4** (2), 841 (2012).
15. Izutani Y., Kanaori K., Oda M., Aggregation property of glycyrrhizic acid and its interaction with cyclodextrins analyzed by dynamic light scattering, isothermal titration calorimetry, and NMR, *Carbohydr. Res.*, **392**, 25 (2014).
16. Babko A. K., *Physico-chemical analysis of complex compounds in the solutions*, 328 (Izd-vo AN USSR, Kiev, 1955). (*in Russ.*).
17. Gluschenko O. Yu., Polyakov N. E., Leshina T. V., NMR relaxation study of cholesterol binding with plant metabolites, *Appl. Magn. Reson.*, **41** (2), 283 (2011).
18. Hu Y.-J., Liu Y., Wang J.-B., Xiao X.-H., Qu S.-S., Study of the interaction between monoammonium glycyrrhizinate and bovine serum albumin, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **36** (4), 915 (2004).
19. Maistrenko V. N., Gusakov V. N., Rusakov I. A., Murinov Yu. I., Tolstikov G. A., Complexation of glycyrrhizic acid with 5-nitro-8-hydroxyquinoline and trinitroglycerol, *Dokl. Akad. Nauk.*, **335** (3), 329 (1994). (*in Russ.*).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Аликина  
Маргарита  
Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1-го курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: alikina93@gmail.com
- Балуда  
Юрий Игоревич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», студент факультета биологии и химии, e-mail: yury.baluda@yandex.ua
- Белалов  
Вадим Вадимович** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», ассистент кафедры нормальной физиологии, e-mail: vadim.belalov@mail.ru
- Бирюкова  
Елена Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Благодырь  
Евгения Сергеевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», выпускница кафедры медико-биологических основ физической культуры
- Браилко  
Валентина  
Анатольевна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», младший научный сотрудник лаборатории продуктивной биологии и физиологии растений
- Гавенко  
Татьяна Вадимовна** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», аспирант
- Ганусяк  
Анжела Петровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирантка кафедры экологии и зоологии, e-mail: golden-1392@mail.ru
- Гришковец  
Владимир Иванович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры общей и физической химии

<b>Громенко Виктор Матвеевич</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии и зоологии
<b>Гусев Алексей Николаевич</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор химических наук, доцент, профессор кафедры общей и физической химии, e-mail: galex0330@rambler.ru
<b>Гусева Анна Айдеровна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
<b>Дягилева Юлия Олеговна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: yulia.dyagileva@gmail.com
<b>Еременко Игорь Леонидович</b>	Федеральное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, доктор химических наук, академик РАН, e-mail: ileremenko@yandex.ru
<b>Жаворонкова Анна Марковна</b>	ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», ассистент кафедры водных биоресурсов и марикультуры
<b>Жижина Марина Николаевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биохимии, e-mail: mnzhizhina@mail.ru
<b>Заячникова Татьяна Валентиновна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
<b>Золотницкий Александр Петрович</b>	ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов и марикультуры
<b>Ибрагимова Эвелина Энверовна</b>	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности

<b>Иванов Сергей Петрович</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и зоологии
<b>Ивашов Анатолий Васильевич</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и зоологии
<b>Кайда Анна Ивановна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирантка кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: kaydaanna@gmail.com
<b>Кискин Михаил Александрович</b>	Федеральное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук, старший научный сотрудник, доктор химических наук, e-mail: m_kiskin@mail.ru
<b>Коба Владимир Павлович</b>	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией дендрологии, e-mail: kobavp@mail.ru
<b>Кобечинская Валентина Григорьевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: valekohome@mail.ru
<b>Колотилова Оксана Ивановна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
<b>Конарева Ирина Николаевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии
<b>Кондакова Юлия Максимовна</b>	Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса II Медицинского факультета
<b>Коренькова Олеся Олеговна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», ассистент кафедры лесного и садово-паркового хозяйства, e-mail: o.o.korenkova@mail.ru

<b>Куличенко Александр Михайлович</b>	Центр коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail alexander.kulichenko@gmail.com
<b>Куличенко Евгений Александрович</b>	Вода Крыма, программист, специалист по компьютерным системам и комплексам, e-mail: breton888@mail.ru
<b>Легухова Виктория Юрьевна</b>	ФБГУН «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биологического разнообразия и экологического мониторинга
<b>Меситский Велор Серверович</b>	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», преподаватель кафедры физической культуры
<b>Минина Елена Николаевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий
<b>Миронюк Ирина Сергеевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»,
<b>Михайлова Анна Андреевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, ассистент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: anna.kulenkova@gmail.com
<b>Назаренко Инна Сергеевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», преподаватель кафедры спорта и физического воспитания
<b>Омельченко Александр Владимирович</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, e-mail: omelchenko_tnu@mail.ru
<b>Онищенко Татьяна Сергеевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса очно-заочной формы обучения кафедры экологии и зоологии

- Орехова  
Лилия Сергеевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: lili\_psy@mail.ru
- Павленко  
Владимир Борисович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей психологии, e-mail: vpav55@gmail.com
- Павлова  
Любовь Валерьевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Потапенко  
Ирина Леонидовна** ФБГУН «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биологического разнообразия и экологического мониторинга
- Присянникова  
Ирина Борисовна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии
- Раваева  
Марина Юрьевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Решетникова  
Лариса Федоровна** Научный отдел Ботанического сада им. Н. В. Багрова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доцент кафедры садово-паркового хозяйства и ландшафтного проектирования факультета биологии и химии
- Симагина  
Наталья Олеговна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: nsimagina@list.ru
- Соболев  
Валерий Иванович** Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru

<b>Сытник Наталья Александровна</b>	ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры
<b>Темурьянц Наталья Арменаковна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
<b>Трунова Инна Васильевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся факультета биологии и химии
<b>Труш Вера Владимировна</b>	Донецкий национальный университет, кандидат медицинских наук, доцент, зав. кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru
<b>Туманянц Каринэ Николаевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
<b>Фаттахов Асан Фаридоглы</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистрант первого курса факультета биологии и химии
<b>Фаттахов Фарид Бадардинович</b>	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», преподаватель кафедры физической культуры
<b>Черненко Елена Валерьевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 3 курса факультета психологии, e-mail: alena.chernenko@mail.ru
<b>Чуян Елена Николаевна</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
<b>Шульгин Виктор Федорович</b>	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и физической химии, e-mail: shulvic@gmail.com
<b>Яковишин Леонид Александрович</b>	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия», e-mail: chemsevntu@rambler.ru

**Ярмолюк  
Наталья Сергеевна**

Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры

**Ярыш  
Виталий Леонидович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», старший научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б.**  
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ В УСЛОВИЯХ СИНХРОННОЙ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЙ ..... 3
- Белалов В. В., Михайлова А. А., Кондакова Ю. М., Куличенко А. М., Павленко В. Б.**  
ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА И ИХ ОСОБЕННОСТИ У ДЕТЕЙ-СИРОТ ..... 13
- Благодырь Е. С., Колотилова О. И., Ярмолюк Н. С., Назаренко И. С.**  
МОТИВАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЯ УСПЕХА И УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ..... 22
- Гаевенко Т. В.**  
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ПАРКОВ ЮБК НА ПРИМЕРЕ МАССАНДРОВСКОГО ПАРКА И ТЕРРЕНКУРА В НЕМ ..... 28
- Ганусяк А. П., Симагина Н. О.**  
АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
*HALIMIONE VERRUCIFERA* (M.BIEB.) AELLEN ..... 47
- Громенко В. М., Фаттахов Ф. Т., Трунова И. В., Ивашов А. В., Фаттахов А. Ф.**  
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИЙНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ШЕННОНА К АНАЛИЗУ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ДВУХ ГРУПП УЧЕНИКОВ ЧЕТВЕРТЫХ КЛАССОВ ..... 55
- Жаворонкова А. М., Золотницкий А. П., Сытник Н. А.**  
О ВЛИЯНИИ МАССЫ ТЕЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ АНАДАРЫ – *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА..... 70
- Жижина М. Н., Омельченко А. В.**  
ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА НЕКОТОРЫЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ..... 82
- Ибрагимова Э. Э., Меситский В. С.**  
ЗАНЯТИЯ РЕГБИ КАК ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА ..... 91
- Коба В. П., Браилко В. А., Коренькова О. О.**  
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ ПАРКОВЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ ФИТОГЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ..... 101
- Кобечинская В. Г., Онищенко Т. С.**  
ПОСЛЕПОЖАРНЫЕ СУКЦЕССИИ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ КРЫМА ..... 112

<b>Конарева И. Н.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕРТ ЛИЧНОСТИ В ПСИХОГЕНЕТИКЕ: ФАКТЫ И ГИПОТЕЗЫ .....	127
<b>Куличенко А. М., Махин С. А., Аликина М. А., Кайда А. И., Черненко Е. В., Павленко В. Б., Куличенко Е. А.</b> АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИЖЕНИЙ В ПАРЕ «ЭКСПЕРИМЕНТАТОР – ИСПЫТУЕМЫЙ» .....	138
<b>Минина Е. Н.</b> ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВНОЙ ЛОГИКИ.....	149
<b>Михайлова А. А., Белалов В. В., Куличенко А. М., Дягилева Ю. О., Орехова Л. С., Павленко В. Б.</b> ОСОБЕННОСТИ ФРОНТО-ПАРИЕТАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА И МЕЖПОЛУШАРНОЙ АСИММЕТРИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ У ДЕТЕЙ- СИРОТ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ .....	166
<b>Потапенко И. Л., Летухова В. Ю.</b> ДЕКОРАТИВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ ПОС. СОЛНЕЧНАЯ ДОЛИНА (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ КРЫМ).....	174
<b>Просьянникова И. Б., Гусева А. А., Гришковец В. И.</b> ВЛИЯНИЕ ГОЛОВНЕВОГО ГРИБА <i>SPORISORIUM ANDROPOGONIS</i> (OPIZ) VÁNKY. НА СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ <i>BOTHRIOCHLOA ISCHAEMUM</i> (L.) KENG. (POACEAE) В ГОРНОМ КРЫМУ .....	187
<b>Раваева М. Ю., Чуюн Е. Н., Павлова Л. В.</b> РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ МИКРОГЕМОДИНАМИКИ .....	196
<b>Раваева М. Ю., Чуюн Е. Н., Павлова Л. В.</b> РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭНДОТЕЛИЯ.....	203
<b>Решетникова Л. Ф.</b> КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ И СОРТООЦЕНКА НОВЫХ И НОВЕЙШИХ СОРТОВ ИРИСА ГИБРИДНОГО ( <i>IRIS HYBRIDA</i> HORT.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ КРЫМА .....	210
<b>Темурьянц Н. А., Туманянц К. Н., Чуюн Е. Н., Ярмолук Н. С.</b> ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УМЕРЕННОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	219
<b>Труш В. В., Соболев В. И.</b> ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО АРГИНИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ КРЫС.....	230
<b>Чуюн Е. Н., Заячникова Т. В., Раваева М. Ю., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А.</b> ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КРЫС ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИПОКИНЕТИЧЕСКОГО СТРЕССА.....	244

<b>Ярыш В. Л., Иванов С. П.</b> ФЕНОМЕН ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ КОПЫТНЫХ В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ В КРЫМУ. СООБЩЕНИЕ II. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ.....	253
--	-----

## **ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<b>Шульгин В. Ф., Балуда Ю. И., Гусев А. Н., Кискин М. А., Еременко И. Л.</b> ГЕТЕРОЛИГАНДНЫЙ КОМПЛЕКС ГАДОЛИНИЯ С ГИДРАЗОНАМИ 3-МЕТИЛ-1-ФЕНИЛ-4-ФОРМИЛПИРАЗОЛ-5-ОНА И 1,3,5- БЕНЗОЛТРИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ .....	268
--	-----

<b>Яковишин Л. А., Гришковец В. И.</b> СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС МОНОАММОНИЙНОЙ СОЛИ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ (ГЛИЦИРАМА) С ТРИПТОФАНОМ .....	275
---	-----

<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....</b>	283
----------------------------------	-----

<b>СОДЕРЖАНИЕ .....</b>	290
-------------------------	-----