

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

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

Научный журнал

Том 3 (69), № 3

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

**Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 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. Темурьянц 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 – Ярмолук Н. С., к. б. н., доц.

Подписано в печать 18.09.2017. Формат 70x100 1/16
Заказ № НП/87. Тираж 50. Бесплатно.

Дата выхода в свет «__» _____. 2017 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности
ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского», 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7
Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4
<http://sn-biolchem.cfuv.ru>

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 3. С. 3–10.

УДК 612.65 : 616-056.216

РЕАКТИВНОСТЬ ТЕТА-РИТМА ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ДЕТЬМИ РАННЕГО ВОЗРАСТА

*Белалов В. В.¹, Михайлова А. А.², Житовецкая Ю. О.¹, Самойлов А. А.¹,
Павленко В. Б.²*

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

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

E-mail: vadym.bielalov@gmail.com

Изучали реактивность тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного речевого сигнала детьми в возрасте от полутора до трех с половиной лет. Процесс восприятия речи сопровождался разнонаправленным изменением мощности тета-ритма ЭЭГ у детей раннего возраста. При этом реверсивный сигнал вызывал значимый прирост мощности указанного ритма ЭЭГ в более широких корковых регионах. Наиболее выраженные отличия в реактивности тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного сигнала наблюдались в лобных, височных и центральных регионах, преимущественно левого полушария. Разница в степени активации структур правого и левого полушарий, отражающаяся в модуляции тета-ритма, в момент восприятия реверсивного сигнала была выше, чем таковая при восприятии речи.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, восприятие речи, реверсивная речь, реактивность тета-ритма, дети.

ВВЕДЕНИЕ

У детей раннего возраста тета-ритм является преобладающим ритмом ЭЭГ. Ряд авторов [1, 2] предполагают, что реактивность тета-ритма отражает способность нервной системы к интеграции визуальной, сенсорной и моторной информации о событиях. Мощность тета-ритма ЭЭГ у детей меняется в самых разных поведенческих состояниях: при переживании положительных и отрицательных эмоций [3], при кормлении [3, 4], в состоянии сонливости [3], а также при активном зрительном внимании [5]. Во время выполнения заданий, требующих высокого уровня внимания, мощность тета-ритма у детей раннего возраста увеличивается [6]. Мощность тета-ритма также меняется и при восприятии речи взрослыми испытуемыми, особенно в височных областях обоих полушарий [7, 8]. Данные о реактивности тета-ритма ЭЭГ во время процесса восприятия речи детьми раннего возраста фрагментарны, а так как тета-активность отражает функционирование

когнитивной, речевой и эмоциональной сфер, то ее анализ у детей во время восприятия речевых сигналов представляет особый интерес.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 54 ребенка в возрасте от полутора до трех с половиной лет. В группу включались дети: а) вес которых при рождении был более двух с половиной килограммов, б) не имеющие генетических заболеваний и заболеваний ЦНС, зарегистрированного фетального алкогольного синдрома, в) рисующие правой рукой. Исследование проводилось на базе лаборатории нейроэтологии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа «Эксперт» (фирма Тредекс). 16-ти канальную ЭЭГ (полоса пропускания 0,5–74,5 Гц, частота дискретизации 250 Гц) регистрировали монополярно от локусов Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 и O2 в соответствии с международной системой «10-20», программой «EEG Mapping 6», разработанной в лаборатории нейроэтологии (программист Е. Н. Зинченко, авторское свидетельство 32317, Компьютерная программа для записи и анализа электроэнцефалограммы с параллельной записью звука). При отведении ЭЭГ использовали 16-канальную детскую электроэнцефалографическую шапочку ШЭУ-16 «Полина» («Тредекс») со встроенным хлорсеребряными электродами. В качестве референтного использовался виртуальный электрод, сигнал которого был равен усредненному по всем отведениям потенциалу (усредненный референт).

Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрым преобразованиям Фурье с перекрытием 50 % и использованием фильтра Баттерворта (порядок 4) с полосой пропускания 2 – 25 Гц. Применялось сглаживание окном Блэкмена. Нижняя граница частотного диапазона тета-ритма для детей до двух лет составляла 3 Гц, для детей старше двух лет – 4 Гц. Верхняя граница тета-ритма (среднее значение 6,7 Гц) соответствовала нижней границе альфа-ритма, границы которого определялась индивидуально для каждого испытуемого методом наложения спектра мощности ЭЭГ, зарегистрированной в период синхронизации и десинхронизации альфа-активности. Для придания данным выборки нормального характера распределения спектральную плотность мощности подвергали логарифмированию ($\ln \text{ мкВ}^2/\text{Гц}$).

ЭЭГ регистрировали в трех экспериментальных ситуациях: в состоянии относительного покоя с открытыми глазами, при восприятии речи (стихотворение понятного для ребенка содержания) и при восприятии реверсивного сигнала (исходное стихотворение, проигранное в реверсном режиме). Отметим, что реверсивный сигнал, хоть и обладает всеми акустическими характеристиками, представленными в речи, лишен как семантической, так и просодической составляющих.

Индекс реактивности (ИР) вычисляли как отношение изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ при восприятии речевого стимула к показателям в условиях относительного покоя:

$IP = (\text{Сигнал} - \text{Фон}) \times 100 \% / \text{Фон},$

где Фон – СПМ тета-ритма ЭЭГ в условии относительного покоя, Сигнал – СПМ тета-ритма при восприятии речи либо реверсивного сигнала. Положительные значения IP соответствуют увеличению мощности, отрицательные – снижению.

Для исследования влияния основного фактора «Сигнал» (речь, реверсивная речь) и интрасубъективных факторов «Полушарие» (Левое, Правое) и «Локус» (F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4) на реактивность тета-ритма ЭЭГ применяли дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated measures ANOVA). Для выявления значимости отличий в показателях реактивности в границах одного локуса использовали апостериорный (post-hoc) критерий Тьюки. Значимыми считали влияния при $P < 0,05$.

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

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал значимость взаимного влияния основного фактора «Сигнал (речь)» и интрасубъективного «локус» на мощность тета-ритма ЭЭГ, которое составило $F(11, 1210) = 24,252$ при $P = 0,004$. Величина влияния взаимодействия факторов «Сигнал (реверсивный сигнал)*«Локус» на мощность тета-ритма ЭЭГ у детей из семей составила: $F(11, 1210) = 15,050$, $P = 0,008$ (Рис. 1).

Восприятие речи вызывало значимые разнонаправленные изменения мощности тета-ритма ЭЭГ преимущественно в затылочных отведениях. При восприятии реверсивной речи в большом количестве исследуемых отведений (семи из 12) наблюдались однонаправленные изменения – увеличение мощности тета-ритма ЭЭГ.

Применение дисперсионного (ANOVA) анализа с повторными измерениями, показало значимое влияние взаимодействия основного фактора «Сигнал» и интрасубъективного «Полушарие» на реактивность тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов, которое составило: $F(1, 106) = 17,725$, $P < 0,001$ (Рис. 2).

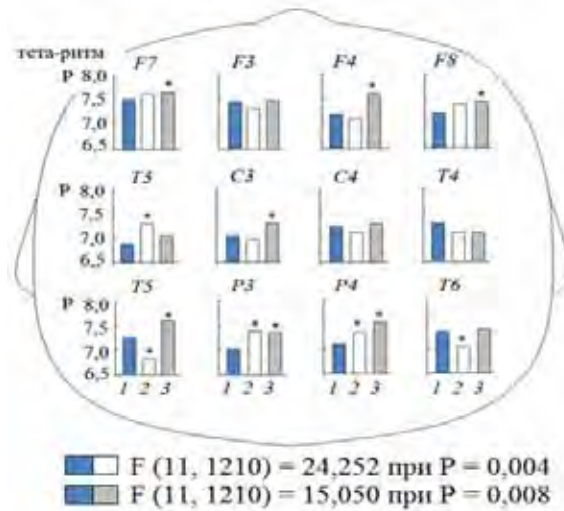


Рис. 1. Мощность (P) тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов по сравнению с показателями в состоянии относительного покоя. По горизонтали указаны экспериментальные ситуации, в которых происходила регистрация ЭЭГ: 1 – состояние относительного покоя, 2 – восприятие речи (белые столбцы), 3 – восприятие реверсивного сигнала (серые столбцы). По вертикали – значение мощности (ln мкВ²/Гц). * – различия в показателях мощности, выявленные апостериорным (post-hoc) критерием Тьюки, при P < 0,05.



Рис. 2. Индекс реактивности (ИР) тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов в правом и левом полушариях. * – значимость совместного влияния факторов «Сигнал» и «Полушарие» при P < 0,05.

Применение дисперсионного анализа показало значимое влияние взаимодействия основного фактора «Сигнал» и интрасубъективного «Локус» на реактивность тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов, которое составило: $F(11, 1166) = 9,590$ при $P < 0,001$ (Рис. 3).

Апостериорный (post-hoc) критерий Тьюки выявил значимые отличия в величине ИР тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи по сравнению с состоянием восприятия лишённого смысла реверсивного сигнала. Прирост мощности тета-ритма оказался значимо ниже в трех локусах (F4, C3, T5) и выше лишь в одном T3.

Полученные результаты кажутся неожиданными, поскольку считается, что у взрослых испытуемых реверсивная речь вызывает значимо меньшую активацию коры по сравнению с речевыми стимулами [9]. У взрослых восприятие реверсивной речи почти не вызывает изменений в паттерне ЭЭГ в низкочастотном диапазоне по сравнению с фоном [10]. Однако для детей раннего возраста характерно преобладание низкочастотных ритмов ЭЭГ [11], т. к. мощность тета-ритма в раннем детском возрасте отражает активное состояние коры, способствующее синаптогенезу [12, 13]. Многими авторами [14, 5, 15, 16] показано, что активация процессов внимания и обработка информации у детей раннего возраста сопровождается увеличением мощности именно тета-ритма.

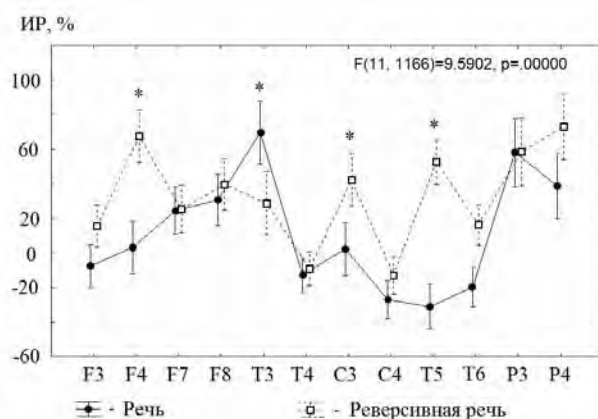


Рис. 3. Реактивность (ИР) тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых сигналов. * – различия в индексах реактивности, выявленные апостериорным (post-hoc) критерием Тьюки, при $P < 0,05$.

Процессы восприятия речевых сигналов могут вызывать активацию процесса внимания, чем объясняется рост мощности тета-ритма [6], наблюдаемый в исследовании. Помимо активации внимания, процесс восприятия речи активирует когнитивные и эмоциональные процессы, что также, по данным литературы, отражается в активации тета-ритма и перестройке паттерна ЭЭГ [17, 18]. Результаты анализа совместного влияния факторов «Сигнал» и «Полушарие» (рис. 2) указывают на разницу в обработке реверсивного сигнала и речи в правом и левом полушариях. Традиционно считается, что структуры, участвующие в обработке речевой информации, локализованы в левом полушарии [19–21]. Однако

анализ просодических особенностей речевого потока относят к функциям зон правого полушария, гомологичным центрам речи левого [22]. Вероятно, большее увеличение мощности тета-ритма в правом полушарии связано с другим просодическим составом реверсивной речи, и ребенок сильнее активизирует внимание, пытаясь разобрать границы слов. Вопрос асимметрии реактивности тета-ритма при восприятии речевых стимулов у детей раннего возраста остается недостаточно изученным и требует дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Процесс восприятия речи сопровождается разнонаправленным изменением мощности тета-ритма ЭЭГ у детей раннего возраста. Реверсивный сигнал вызывает больший прирост мощности указанного ритма ЭЭГ в широких корковых регионах.
2. Наиболее выраженные отличия в реактивности тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного сигнала наблюдаются в лобных, височных и центральных регионах преимущественно левого полушария.
3. Разница в степени активации структур правого и левого полушарий, отражающаяся в модуляции тета-ритма, в момент восприятия реверсивного сигнала выше, чем таковая при восприятии речи.

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

Список литературы

1. Bazhenova O. V. Physiological responses of 5-month-old infants to smiling and blank faces / O. V. Bazhenova, T. A. Stroganova, J. A. Doussard-Roosevelt [et al.] // *Int J Psychophysiol.* – 2007. – V. 63. – P. 64–76.
2. Del Giudice M. Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons / M. Del Giudice, V. Manera, C. Keysers // *Dev Sci.* – 2009. – V. 12 – P. 350–363.
3. Futagi Y. Theta rhythms associated with sucking, crying, gazing and handling in infants / Y. Futagi, T. Ishihara, K. Tsuda [et al.] // *ElectroencephalogrClinNeurophysiol.* – 1998. – V. 106. – P. 392–399.
4. Lehtonen J. The effects of feeding on the electroencephalogram in 3- and 6-month-old infants / J. Lehtonen, M. Könönen, M. Purhonen // *Psychophysiology.* – 2002. – V. 39. – P. 73–79.
5. Orekhova E. V. EEG theta rhythm in infants and preschool children / E. V. Orekhova, T. A. Stroganova, I. N. Posikera [et al.] // *Clin. Neurophysiol.* – 2006. – V. 117, № 5 – P. 1047–1062.
6. Clarke A. R. EEG evidence for a new conceptualisation of attention deficit hyperactivity disorder / A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy [et al.] // *ClinNeurophysiol.* – 2002. – V. 113(7). – P. 1036–44.
7. Doelling K. B. Acoustic landmarks drive delta-theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing / K. B. Doelling, L. H. Arnal, O. Ghitza [et al.] // *Neuroimage.* – 2014. – V. 15. – P. 761–8.
8. Hyafil A. Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations / A. Hyafil, L. Fontolan, C. Kabdebon // *Elife.* – 2015. – V. 4. – P. 123–34.
9. Brown E. Evaluating reverse speech as a control task with language-related gamma activity on electrocorticography / E. C. Brown, O. Muzik, R. Rothermel // *Neuroimage.* – 2012. – V. 60. – P. 2335–2345.
10. Hermes D. Stimulus Dependence of Gamma Oscillations in Human Visual Cortex / D. Hermes, K. J. Miller, B. A. Wandell // *Cereb Cortex.* – 2015. – V. 25(9). – P. 2951–9.
11. Marshall P. J. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age / P. J. Marshall, Y. Bar-Haim, N. A. Fox // *Clin. Neurophysiology.* – 2002. – Vol. 113(8). – P. 1199–1208.

12. Greenough W. T. Experience and brain development / W. T. Greenough, J. E. Black, C. S. Wallace // *Child Devel.* – 1987. – V. 58. – P. 539–559.
13. Nikonenko I. Presynaptic Remodeling Contributes to Activity-Dependent Synaptogenesis / I. Nikonenko, J. Muller // *Journal of Neuroscience.* – V. 23(24). – P. 8498–8505.
14. Stroganova T. A. Externally and internally controlled attention in infants: an EEG study / T. A. Stroganova, E. V. Orekhova, I. N. Posikera // *Int. J. Psychophysiol.* – 1998. – V. 30, № 3. – P. 339–351.
15. Khader P. H. Theta and alpha oscillations during working-memory maintenance predict successful long-term memory encoding / P. H. Khader, K. Jost, C. Ranganath [et al.] // *Neurosci Lett.* – 2010. – V. 468. – P. 339–343.
16. Sauseng P. Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. / P. Sauseng, B. Griesmayr, R. Freunberger [et al.] // *NeurosciBiobehav Rev.* – 2010. – V. 34 – P. 1015–1022.
17. Klimesch W. Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information / W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Russegger // *Neuroreport.* – 1996. – V. 7. – P. 1235–1240.
18. Laufs H. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves / H. Laufs, J. L. Holt // *Neuroimage.* – 2006. – Vol. 31(4). – P. 1408–1418.
19. Спрингер С. Левый мозг, правый мозг. Асимметрия мозга / Спрингер С., Дейч Г. // М.: Мир, 1983. – 256 с.
20. Geschwind N. The biology of cerebral dominance: implications for cognition / N. Geschwind // *Cognition.* – 1984. – V. 17(3). – P. 193–208.
21. Ding N. Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. / N. Ding, L. Melloni, H. Zhang [et al.] // *Nat Neurosci.* – 2016. – V. 19(1). – P. 158–164.
22. Thierry G. Hemispheric dissociation in access to the human semantic system / G. Thierry, A. L. Giraud, C. Price // *Neuron.* – 2003. – V. 38(3). – P. 499–506.

TETA-RHYTHM REACTIVITY DURING PERCEPTION OF SPEECH SIGNALS BY CHILDREN OF EARLY AGE

Belalov V. V., Mikhailova A. A., Zhitovetskaya Yu. O., Samoilov A. A., Pavlenko V. B.

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

The reactivity of the theta rhythm of the EEG was studied in the perception of speech and reversed speech signal by children aged one and a half to three and a half years. The lower limit of the frequency range of the theta rhythm for children under two years was 3 Hz hertz, for children older than 2 years – 4 Hz. The upper limit of the theta rhythm (average value of 6.7 Hz) corresponded to the lower boundary of the alpha rhythm, the boundaries of which were determined individually for each subject by applying the EEG power spectrum overlay recorded during synchronization and desynchronization of alpha-activity. The EEG was recorded in three experimental situations: in a state of relative rest with open eyes, in the perception of speech (a poem that is understandable to the child of the content) and in the perception of a reversed signal (the original poem in the reverse mode). Note that the reversed signal, although it has all the acoustic characteristics presented in the speech, is devoid of both semantic and prosodic components. For statistical processing, the repeated ANOVA measures were used. The process of perception of speech was accompanied by a multidirectional change in the power of theta-rhythm of the EEG in young children. At the same time, the reversed signal caused a significant increase in the power of this EEG rhythm in wider cortical regions. The most pronounced differences in the reactivity of the theta

rhythm of the EEG in the perception of speech and the reversible signal were observed in the frontal, temporal and central regions, mainly the left hemisphere. The difference in the degree of activation of the structures of the right and left hemispheres, reflected in the modulation of the theta-rhythm, at the time of perception of the reversed signal was higher than that of perception of speech.

Keywords: electroencephalogram (EEG), speech perception, theta-rhythm, reversed speech, infants.

References

1. Bazhenova O. V., Stroganova T. A., Doussard-Roosevelt J. A., Posikera I. A., Porges S. W. Physiological responses of 5-month-old infants to smiling and blank faces *Int J Psychophysiol.* **63**, 64 (2007).
2. Del Giudice M., Manera V., Keysers C. Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons *Dev Sci.* **12**, 350 (2009).
3. Futagi Y., Ishihara T., Tsuda K. [et al.] Theta rhythms associated with sucking, crying, gazing and handling in infants *ElectroencephalogrClinNeurophysiol.* **106** 392 (1998).
4. Lehtonen J., Könönen M., Purhonen M. [et al.] The effects of feeding on the electroencephalogram in 3- and 6-month-old infants *Psychophysiology.* **39**, 73 (2002).
5. Orekhova E. V., Stroganova T. A., Posikera I. N. [et al.] EEG theta rhythm in infants and preschool children *Clin. Neurophysiol.* **5**, 1047 (2006).
6. Clarke A. R., Barry R. J., McCarthy R. [et al.] EEG evidence for a new conceptualisation of attention deficit hyperactivity disorder *ClinNeurophysiol.* **113**, 1036 (2002).
7. Doelling K. B., Arnal L. H., Ghitza O. [et al.] Acoustic landmarks drive delta-theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing *Neuroimage.* **15**, 761 (2014).
8. Hyafil A., Fontolan L., Kabdebon C. [et al.] Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations. *Elife.* **4**, 123 (2015).
9. Brown E. C., Muzik O., Rothermel R. Evaluating reverse speech as a control task with language-related gamma activity on electrocorticography. *Neuroimage.* **60**, 2335 (2015).
10. Hermes D., Miller K. J., Wandell B. A. [et al.] Stimulus Dependence of Gamma Oscillations in Human Visual Cortex. *Cereb Cortex.* **25**, 2951 (2014).
11. Marshall P. J., Bar-Haim Y., Fox N. A. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age. *Clin. Neurophysiology.* **113**(8), 1199 (2002).
12. Greenough W. T., Black J. E., Wallace C. S. Experience and brain development *Child Devel.* **58**, 539 (1987).
13. Nikonenko I., Muller J. Presynaptic Remodeling Contributes to Activity-Dependent Synaptogenesis. *Journal of Neuroscience.* **23**(24), 8498 (2011).
14. Stroganova T. A., Orekhova E. V., Posikera I. N. Externally and internally controlled attention in infants: an EEG study. *Int. J. Psychophysiol.* **30**(3), 339 (1998).
15. Khader P. H., Jost K., Ranganath C. [et al.] Theta and alpha oscillations during working-memory maintenance predict successful long-term memory encoding. *Neurosci Lett.* **468**, 339 (2010).
16. Sauseng P., Griesmayr B., Freunberger R. [et al.] Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. *NeurosciBiobehav Rev.* **34**, 1015 (2010).
17. Klimesch W., Doppelmayr M., Russegger H., [et al.,] Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information. *Neuroreport.* **7**, 1235 (1996).
18. Laufs H., Holt J. L. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves *Neuroimage* **31**(4), 1408 (2006).
19. Springer S., Dech G. Left brain right brain. Asymmetry of neocortex. *M.: Mir.* 256 (1983).
20. Geschwind N. The biology of cerebral dominance: implications for cognition *Cognition.* **17**(3), 193 (1984).
21. Ding N., Melloni L., Zhang H. [et al.] Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nat Neurosci.* **19**(1), 158 (2016).
22. Thierry G., Giraud A. L., Price C. Hemispheric dissociation in access to the human semantic system. *Neuron.* **38**(3), 499 (2003).

УДК 581.4+581.5(292.471)

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ВОЗРАСТНЫХ СОСТОЯНИЙ ДВУЛЕПЕСТНИКА ПАРИЖСКОГО (*CIRCAEA LUTETIANA* L.)

Вахрушева Л. П., Нурмамбетова Э. Д.

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

Приводится описание возрастных состояний (проростков, ювенильных, имматурных, виргинильных и генеративных – g₁, g₂, g₃) *Circaea lutetiana* L. – редкого растения, произрастающего в Крыму и внесенного в Красные книги 23 областей и субъектов Российской Федерации. Обозначаются основные этапы онтогенеза вида.

Ключевые слова: *Circaea lutetiana*, морфологические критерии, возрастные состояния, ценопопуляция, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Circaea* L. относится к семейству Onagraceae Juss. [1] и насчитывает 12 видов, распространенных в лесных районах умеренно теплой зоны Северного полушария [2, 3]. В пределах средней полосы Европейской части РФ *Circaea lutetiana* L. встречается во всех областях, а также отмечена на Кавказе, юге Сибири и Дальнем Востоке [4]. В Крыму, произрастая преимущественно в поясе буковых и буково-грабовых лесов [5], этот вид приурочен к влажным тенистым местам: лесным оврагам, берегам рек и ручьев. В красных книгах 23-х областей, краев и республик России [3, 4, 6–27] отмечается, что *C. lutetiana* является малоизученным растением, особенно с точки зрения структуры и численности его популяций. В последнее издание Красной книги Республики Крым *C. lutetiana* не включена, однако известно, что на территории полуострова вид имеет невысокую численность, обусловленную слабой экологической пластичностью и низкой конкурентоспособностью, встречаясь рассеянно-редко. Высокая антропогенная нагрузка на местообитания *C. lutetiana* приводит к падению и без того невысокой численности популяций, нарушает процессы репродукции, что приводит к гибели растений и дальнейшему снижению численности. Отсюда понятна важность исследования *C. lutetiana* в ее естественных местах произрастания на территории Крыма и сохранения лесных экосистем, служащих местами локализации нежного и красивейшего растения. Цель наших исследований – выявить морфологические признаки, характеризующие различные возрастные состояния *C. lutetiana*, установить длительность протекания различных фаз онтогенеза данного вида и

определить его численность в условиях букового леса северного макросклона Крымских гор.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – *Circaea lutetiana* (двулепестник парижский) – по основной биоморфе является травянистым поликарпиком, по экоморфе – мезофитом, по гелиоморфе – сциофитом, по среде обитания – аэропедофитом. По особенностям вегетации цирцея парижская принадлежит к летнезеленым флористическим элементам [5].

Исследования фитоценозов, в которых произрастает *C. lutetiana*, проводились по общепринятым геоботаническим методикам [31, 32]. Изучение ценопопуляций *C. lutetiana* включало: установление численности и плотности особей в различных ценопопуляциях [28]; выявление качественно-количественных морфологических признаков надземной сферы растений с целью нахождения возрастноморфологических критериев для каждой фазы онтогенеза [29]. Параллельно производилось исследование процессов самоподдержания ценопопуляций [29, 30].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Популяция *C. lutetiana* была обнаружена в буковом лесу северного макросклона Крымских гор, в районе Ангарского перевала (около 800 м над у. м.). В вегетационный сезон 2016 г. были исследованы четыре ценопопуляции, произрастающие в сходных экотопах на расстояниях от 300 до 700 м друг от друга. Следуя представлениям С. Зейболда, их вполне возможно рассматривать как ценопопуляции единой популяции [33]. Фитоценотически популяции *C. lutetiana* приурочены к формации *Fageta sylvaticae moesiacaе*, но фактически не образуют с другими видами растительных сообществ, а произрастают по опушке букового леса, формируя практически чистые заросли площадью от 2 до 4 м² с проективным покрытием 75–80 %. В местах произрастания ценопопуляций *C. lutetiana* почва покрыта толстым слоем листовой подстилки и буковыми семенами, развита плотная тень. По состоянию на 03.07.2016 ценопопуляция №1 насчитывала 92 вегетативных особи и 124 генеративных. Она произрастает на склоне северо-восточной экспозиции, на опушке букового леса и формирует моноценоз площадью около 2,5 м² (0,9×2,8 м). Ценопопуляция №2 расположена в 300 м к югу от ценопопуляции №1 и насчитывает 162 вегетативных особей, 82 генеративных; ее моноценоз занимает площадь 2,7 м² (0,8×3,4 м). Вблизи ценопопуляции №2, но уже под пологом леса, произрастает *Mercurialis perennis* L. с покрытием около 30 %, а внутри чистых зарослей цирцеи единично встречается *Epilobium parviflorum* Schreb. Ценопопуляция №3 насчитывает 28 вегетативных особей и 4 генеративных (1,4 м²) и является наиболее угнетенной вследствие высокой рекреационной нагрузки в месте ее произрастания: рядом лесная прогулочная дорога, которая является и местом проезда квадрациклов. Ценопопуляция №4 располагается на открытой солнечной опушке, на склоне юго-восточной экспозиции в сообществе с *Dactylis glomerata* L. и *Carex divulsa* Stokes, и насчитывает 23 вегетативных особи и 72

генеративных на площади около 4 м² (1,7×2,4 м). Проективное покрытие травостоя в этой части букового леса около 35 %.

У *C. lutetiana* выявлены следующие морфометрические признаки возрастных состояний. Плоды с семенами появляются в конце июля – начале августа и могут сохраняться до середины сентября. Семена овально-яйцевидной формы, с заостренной верхушкой, 2–4 мм длиной, с плотной семенной кожурой, бурого цвета. Прорастают семена при достаточном увлажнении почвы с мая по июль следующего года, т. к. нуждаются в периоде покоя. Проростки (р) очень хрупкие и мелкие, их высота около 5 мм. У них образуется два семядольных листа округлой формы размером 3×2 мм. На этой стадии листовая пластинка *C. lutetiana* цельная и цельнокрайняя. Длина листового черешка до 3 мм. Корневище только начинает формироваться, и его длина составляет 0,5–1 см, но на стадии перехода в ювенильное состояние может достигать 1,5 см (рис. 1а). Если прошлогоднее семя проросло в начале вегетационного периода (май), то в ювенильное состояние растение переходит к концу лета. Если проростки появляются в период позднелетних и осенних дождей, то они перезимовывают под защитой листового опада бука. Весной – в начале лета при достаточном количестве влаги проросток переходит в ювенильное состояние (j).

У особой ювенильного возраста сохраняются цельные семядольные листья и появляются следующие 1–2 пары супротивно расположенных листьев (рис. 2b). Они напоминают листья взрослых растений и имеют яйцевидную цельнокрайнюю листовую пластинку, заостренную на верхушке, в основании – округлую или сердцевидную, жилкование перистопетлевидное. Желобчатый листовый черешок достигает в длину до 1 см. Корневище ювенильных особей принимает горизонтальное положение, его длина составляет 1–3 см. На этой стадии, как правило, отмирают зародышевые листья, на их месте остается рубец, который сохраняется вплоть до виргинильного возраста, что позволяет внешне отличить особь семенного происхождения (генету) от особи вегетативного (раметы).

В момент потери растением зародышевых признаков и приобретения черт, напоминающих взрослое растение, особь переходит в имматурное возрастное состояние (im). Высота стебля достигает 5–10 см, в его верхней части появляется мягкое опушение из мелких мягких волосков. Особи имеют 2–3 пары листьев яйцевидно-ланцетной формы. Листовая пластинка длинно заостренная, появляются мелкие редко расположенные зубчики по краям листовой пластинки и короткие прижатые волоски. Корневище ползучее, проникающее на глубину до 3–5 см, с развитой системой обильно ветвящихся придаточных корней. Придаточные корни зачастую могут пронизывать опавшую корку деревьев, листовый опад бука или плюску буковых орешков. На корневище в имматурном возрастном состоянии начинают формироваться первые столоны (рис. 1с).

В конце этого или в начале следующего вегетационного сезона при достаточном количестве влаги и других благоприятных факторах цирцея переходит в виргинильную стадию (v). Виргинильная стадия у особей *C. lutetiana* характеризуется увеличением количества пар листьев от 4 до 6 (рис. 1d). Листья по форме имеют очертания, соответствующие взрослым растениям, то есть основание

листовой пластинки виргинильных растений эллиптической формы, верхушка заостренная, но размеры небольшие: в длину достигают 10–30 мм, в ширину – 15–50 мм. Листья очень тонкие и нежные, реагирующие на засуху увяданием. Длина черешка составляет 15–30 мм. Стебель прямостоячий, его высота в этом возрастном состоянии достигает 20–30 (редко 50) см. Корневище шнуровидное, ветвистое, проникает в почву на глубину 5–10 см, активно формируя подземные столоны в начале вегетационного сезона. При достаточно благоприятных условиях, т. е. при умеренном затенении и наличии влаги, к следующему сезону виргинильное растение зацветает и переходит в генеративный период (g).

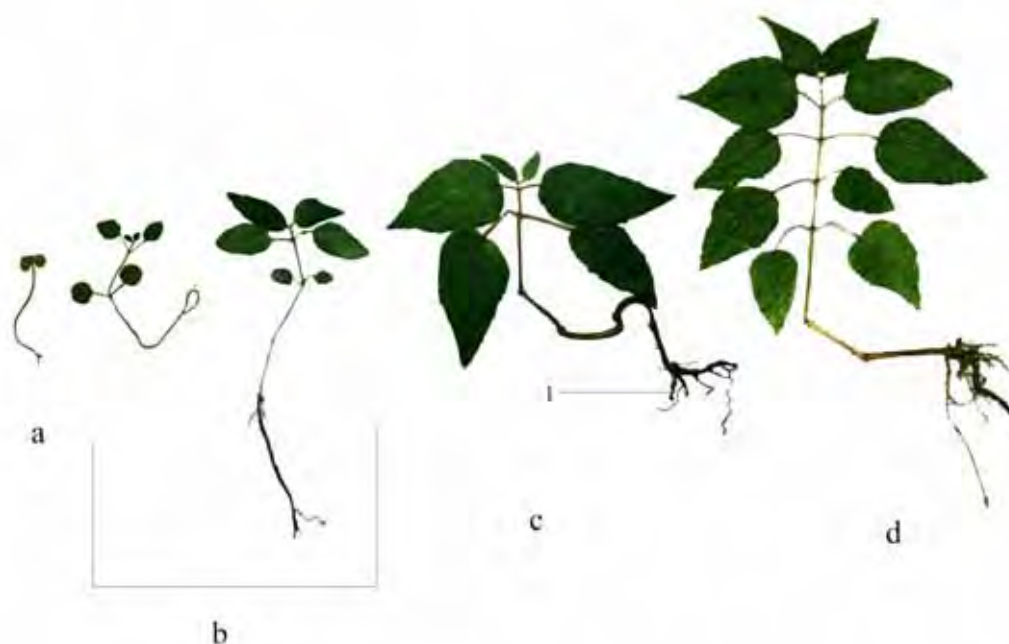


Рис. 1. Прегенеративные возрастные состояния *Circaea lutetiana* (a – проростки; b – молодые и зрелые ювенильные растения; c – имматурные: 1 – стolon; d – виргинильные).

В первый год цветения растение является молодым генеративным (g_1): имеет 1 прямостоячий цветонос, при созревающих плодах наклоненный вниз, до 7 см длиной, с густым опушением. Цветки без прицветников собраны в верхушечных и пазушных простых кистях длиной 7–25 см. Чашечка длиной до 3–4 мм с яйцевидными заостренными, отклоненными вниз чашелистиками зелено-пурпурного цвета, снаружи слегка опушенными. Лепестки белые или бледно-розовые, широко обратно-сердцевидные, двулопастные, сидячие. Тычинки две, они выносят вперед пыльники длиной 0,6–1 мм (рис. 2). К концу июля – началу августа,

т. е. на второй-третий год онтогенеза, молодые генеративные особи начинают плодоношение. Плод – двусемянной орешек, овально-грушевидной формы, длиной до 4 мм, покрытый длинными крючковидно-изогнутыми щетинками, равными поперечнику плода.

Появление ветвления у цветоносов показывает наступление следующего возрастного состояния – зрелого генеративного (g_2). Количество цветоносов в этом возрасте – от 3 до 5. Кисти несут по 10–12 цветков, каждый из которых завязывает плод. У стареющих генеративных растений (g_3) количество цветоносов до 5, однако не все цветки плодоносят. Высота стебля 20–50 см.

В исследуемой популяции особи сенильной (s) фазы не были обнаружены.



Рис. 2. *Circaea lutetiana* в возрастном состоянии g_1 .

Размножение *C. lutetiana* протекает семенным и вегетативным путем с помощью подземных столонов [1, 5]. Основной способ самоподдержания популяции – вегетативное размножение. Причем оно начинается в прегенеративный период: уже в первый год жизни растение формирует столоны (от 15 до 20 шт.), которые к осени утолщаются и теряют связь с материнским растением, становясь самостоятельными раметами. В этом случае оно приводит к достаточно глубокому омоложению образующихся потомков [26]. Весной из верхушечной почки каждого сохранившегося столона появляется побег, развивающийся в самостоятельную особь. Основная масса столонов располагается на глубине 3–7 см. Семенное размножение встречается реже и бывает успешным при достаточном освещении и увлажнении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Численность особей *C. lutetiana* в изученных ценопопуляциях колеблется от 32 до 244. В пределах популяционных полей плотность особей изменяется от 23–24 (ЦП № 3 и ЦП № 4) особей на 1 м² до 86–90 особей на 1 м² (ЦП № 1 и ЦП № 2).
2. Основными критериями подразделения особей прегенеративного возрастного состояния на проростки, ювенильные, имматурные и виргинильные растения являются: форма листа и края листовой пластинки, число пар листьев, способность к формированию органов вегетативного размножения – столонов; дополнительными – степень опушенности стебля, его высота, длина листового черешка, корневища.
3. Особи генеративного возрастного состояния (g_1 , g_2 , g_3) отличаются количеством формирующихся цветоносов, количеством цветков и способностью к образованию плодов и семян.
4. Основной способ самоподдержания популяции *C. lutetiana* в изученных условиях – вегетативное размножение.
5. *C. lutetiana* в природной популяции характеризуется как вид, интенсивно сокращающийся под влиянием антропогенного воздействия, что приводит к его угнетению и падению численности (ЦП 3).

Список литературы

1. Тахтаджян А. Л. Жизнь растений. Цветковые растения, т. 5 (2). / Тахтаджян А. Л. – М.: Просвещение, 1981. – 508 с.
2. Комаров В. Л. Флора СССР. Т. XV / ред. тома Б. К. Шишкин, Е. Г. Бобров. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. – 633 с.
3. Флора Восточной Европы / Ред. Н. Н. Цвелев. Т. IX. – СПб.: Мир и семья-95, 1996. – С. 315–316.
4. Красная книга Рязанской области: официальное научное издание / Отв. ред. В. П. Иванчев, М. В. Казакова. Изд. 2-е. Рязань: НП «Голос губернии», 2011. – 468 с.
5. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. / Голубев В. Н. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 125 с.
6. Красная книга Воронежской области. Т. 1: Растения. Лишайники. Грибы / Правительство Воронеж. обл.; Упр. по экол. и природопользованию Воронеж. обл.; Воронеж. гос. ун-т.; [научн. ред. В. А. Агафонов]. – Воронеж: МОДЭК, 2011. – 203 с.
7. Красная книга Владимирской области / Р. Е. Азбукина, Ю. А. Быков, И. В. Вахромеев и др.; Администрация Владимирской области, Департамент природопользования и охраны окружающей среды. – Владимир: Транзит-ИКС, 2010. – 399 с.
8. Красная книга Липецкой области. Т. 1: Растения, грибы, лишайники. Изд. 2-е, перераб. / науч. ред. А. В. Щербаков – Липецк: ООО «Веда социум», 2014. – 510 с.
9. Красная книга Ивановской области. Т. 2: Растения и грибы / под ред. В. А. Исаева. – Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. – 192 с.
10. Красная книга Иркутской области / Правительство Иркутской области. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. Отв. ред. В. В. Попов. – Иркутск: ООО Изд-во «Время странствий», 2010. – 480 с.
11. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. – Изд. 2-е. – Киров: Кировская обл. типография, 2014. – 336 с.
12. Красная книга Костромской области. – Кострома: ДПРиООС, Костромской гос. университет, 2009. – 387 с.
13. Красная книга Курской области. Т. 2. Редкие и исчезающие виды растений и грибов / Отв. ред. Н. И. Золотухин. – Тула, 2001. – 165 с.

14. Красная книга Орловской области: Грибы. Растения. Животные / Администрация Орловской обл; [отв. ред. О. М. Пригоряну]. – изд. 1-е. – Орел: Центр Ковыль, 2007. – 264 с.
15. Красная книга Пензенской области. Т. 1. Растения и грибы / Науч. ред. А. И. Иванов. – Пенза: Пензенская правда, 2002. – 160 с.
16. Красная книга Пермского края / Министерство градостроительства и развития инфраструктуры, Управление по охране окружающей среды, Пермский государственный педагогический университет. Пермская государственная фармацевтическая академия. Ред. проф. А. И. Шепель. – Пермь: Книжный мир, 2008. – 256 с.
17. Красная книга Республики Бурятия: редкие и исчезающие виды растений и грибов. – 2-е изд. Новосибирск: Наука, 2002. – 340 с.
18. Красная книга Республики Хакасия: редкие и исчезающие виды растений и грибов / отв. ред. Е. С. Анкипович. 2-е изд. – Новосибирск: Наука, 2012. – 288 с.
19. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы) / ред. А. А. Назиров – Казань: Идеал-Пресс, 2016. – 760 с.
20. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений, грибов, лишайников / Правительство Самарской области. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Самарской области. Институт экологии Волжского бассейна РАН / Ред. чл.-корр. РАН Г. С. Розенберг и проф. С. В. Саксонов. – Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна РАН, 2007. – 372 с.
21. Красная книга Свердловской области. Животные, растения, грибы. – Екатеринбург: Баско, 2008. – 256 с.
22. Красная книга Тверской области. Изд. 2-е. – Тверь: Тверской Печатный Двор, 2016. – 400 с.
23. Красная книга Удмуртской Республики: Сосудистые растения. Лишайники / Отв. ред. В. В. Туганаев. – Ижевск: Удмурт. ун-т, 2001. – 290 с.
24. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е. А. Артемьевой, А. В. Масленникова, М. В. Корепова. – М.: Буки Веди, 2015. – 550 с.
25. Красная книга Челябинской области: животные, растения, грибы / Министерство по радиационной и экологической безопасности Челябинской области, Ин-т экологии растений и животных УрО РАН / Отв. ред. Н. С. Корьтин. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. – 256 с.
26. Красная книга Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа: Растения. Чита, 2002. – 344 с.
27. Красная книга Ярославской области / Под ред. Л. В. Воронина. – Ярославль: Изд-во А. Рутмана, 2004. – 384 с.
28. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста / Ю. А. Злобин. – Сумы: Университетская книга, 2009. – 263 с.
29. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. Ботан. ин-та им. В. А. Комарова. – Сер. 3, вып. 6. – М., 1950. – С. 7–204.
30. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / Уранов А. А. // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1975. – № 2 – С. 7–34.
31. Работнов Т. А. Фитоценология: учебное пособие для биологических факультетов вузов / Т. А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 384 с.
32. Шенников А. П. Введение в геоботанику / Шенников А. П. – Л., 1964. – 447 с.
33. Seybold S. Über die Größe von Populstionen höherer Pflanzen / S. Seybold // Jahresh. Ges. Naturk. Württrmberg.– 1980. – Vol. 135 – S. 252–254.

AGE STAGES MORPHOLOGICAL CRITERIAS
OF THE *CIRCAEA LUTETIANA* L.

Vakhrusheva L. P., Nurmambetova E. D.

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

Circaea lutetiana L. (Onagraceae Juss.) it occurs in all the main parts of the middle part of the Russian Federation, the Caucasus, southern Siberia, the Far East and the Crimean Mountains. In the Red List of 23 region and republics of Russia wrote that the quantity and structure of *C. lutetiana* populations have not studied sufficiently. The purpose of the research was to reveal the morphological features characterizing different age states of *C. lutetiana* to establish the duration of the ontogenesis phases of this species and to determine its quantity in phytocoenoses of beech forest on the northern macroslope of the Crimean Mountains (752 m).

Four coenopopulations from the similar ecotopes were investigate. Coenopopulation №1 consisted of 92 vegetative individuals and 124 generative (monocoenose area 2.5 m²). Coenopopulation № 2 contains 162 vegetative individuals, 82 generative (area – 2.7 m²). Coenopopulation № 3 consists of 28 vegetative individuals and 4 generative (1.4 m²), grows in conditions of the highest recreational load. Coenopopulation №4 created a phytocoenose with *Dactylis glomerata* L. and *Carex divulsa* Stokes; there are 23 vegetative individuals and 72 generative (4 m²).

The following particularity of ontogeny and morphometric criterions age stages of the *C. latetiana* it has been established. Fruits with seeds appear in late July – early August. Seeds germinate from May to July of the following year, after a dormitio period. Plantula (p) is very brittle and shallow (height about 5 mm), they have two cotyledonous whole leaves measuring 3×2 mm. Length of leaf petiole up to 3 mm. Rhizome has a length of 0.5–1 cm and only begins to be expressed. Juvenalis (j) individuals retains cotyledonous leaves and has 1-2 pairs of oppositely arranged whole-leaf leaves with a heart-shaped base and acute apex. The embryonic leaves die at this stage, in their place there are boundaries that save until the virginal age. This criterion give distinguish the genet from the ramet.

Immature (im) individuals has a stem height of 5–10 cm, at the top of it appears pubescence of small soft hairs. Individuals have 2–3 pairs of ovate-lanceolate leaves. The leaf blade is long, pointed, with small, rare denticles along the margins and with short pressed hairs. Rhizome penetrates to a depth of 3–5 cm, with a developed system of abundantly branching accessory roots. The first stolons on the rhizome appears.

At the end of this or at the beginning of the next growing season, *C. lutetiana* passes into virginal (v) individuals. The number of pairs of leaves from 4 to 6, the leaf is elliptical, with a pointed tip (length 10–30 mm, width 15–50 mm), rhizome branched, forms stolons at the beginning of the growing season. By the next season virginal plant flowering and passes into a generative state (g).

In the first year the flowering plant has 1 (rarely 2) an upright densely pubescent 7 cm peduncles with 5–9 flowers – this is g₁. The appearance of a branch from the peduncles indicates the onset of the age state – g₂. The number of peduncles at this age from 3 to 5

(10–12 flowers each), each flower ties up the fruit. In plants of age g_3 , the number of peduncles is up to 5, but not all flowers bear fruit.

1. The density of *C. lutetiana* individuals varies from 23–24 (№ 3 and № 4) of individuals per 1 m² to 86–90 individuals per 1 m² (№ 1 and № 2).

2. The individuals of age stages (p, j, im, v) differ in the type of leaf plates, often pairs of leaves, the length of the rhizome, the ability to form stolons. The individuals g_1 , g_2 , g_3 are distinguished by the number of peduncles, the number of flowers and their ability to form fruits and seeds.

4. The main way of reproduction of the *C. lutetiana* population is vegetative reproduction.

5. *C. lutetiana* is a species that is shrinking intensively under the influence of anthropogenic impact which leads to its inhibition and a decrease in population (№ 3).

Keywords: *Circaea lutetiana*, morphological criteria, age conditions, cenopopulation, Crimea.

References

1. Takhtadzhyan A. L. *Life of plants. Flowering plants*, 5 (II), 508 (Moscow: Education, 1981).
2. Komarov V. L. *Flora of the USSR*, 30, 633 (M.-L. : AN SSSR, 1949).
3. *Flora of Eastern Europe*, Ed. N. N. Tzvelev, IX, 315 (SPb. : Peace and Family-95, 1996).
4. *Red Book of the Ryazan Region: an official scientific publication*, Ed. V. P. Ivanchev, M. V. Kazakova, 468 (Ryazan: NP "The Voice of the Province", 2011).
5. Golubev V. N. *Biological flora of the Crimea*, 125 (Yalta, NBS-NSC, 1996).
6. *Red Book of the Voronezh Region: in 2 vol. T. 1: Plants. Lichens. Mushrooms*, 203 (Voronezh: MODEK, 2011).
7. *The Red Book of the Vladimir Region*, Ed. R. E. Azbukina, Yu. A. Bykov, I. V. Vakhromeev and dr., 399 (Vladimir: Transit-IKS, 2010).
8. *Red book of the Lipetsk region: T. 1: Plants, fungi, lichens*, Ed. A. V. Shcherbakov, 510 (Lipetsk: OOO Veda Socium, 2014).
9. *Red Book of the Ivanovo Region. T. 2: Plants and fungi*, Ed. V. A. Isaeva, 192 (Ivanovo: IPC "Pressto", 2010).
10. *Red Book of the Irkutsk Region*, Ed. V. V. Popov, 480 (Irkutsk: OOO Publishing house "Time of wanderings", 2010).
11. *Red book of the Kirov region: animals, plants, mushrooms*, Ed. O. G. Baranova, E. P. Lachokha, V. M. Ryabov, V. N. Sotnikov, E. M. Tarasova, L. G. Tselishcheva, 336 (Kirov: Kirov printing house, 2014).
12. *Red Book of the Kostroma Region*, 387 (Kostroma: DPRi, Kostroma State University, 2009).
13. *Red Data Book of the Kursk Region T. 2. Rare and endangered species of plants and fungi*, Ed. Zolotukhin N. I., 165 (Tula, 2001).
14. *Red book Orel: [Mushrooms. Plants. Animals]*, Ed. M. M. Prigoryan, 264 (Orel: Center Kovyl. 2007).
15. *Red book of the Penza region. T. 1. Plants and fungi*, Ed. A. I. Ivanov, 160 (Penza: Penza truth, 2002).
16. *Red Data Book of the Perm Region*, Ed. A. I. Shepel, 256 (Perm: "The Book World", 2008).
17. *Red Data Book of the Republic of Buryatia: Rare and endangered species of mushroom plants*, 340 (Novosibirsk: Science, 2002).
18. *Red Data Book of the Republic of Khakassia: Rare and Endangered Species of Plants and Mushrooms*, Ed. E. S. Ankipovich, 288 (Novosibirsk: Science, 2012).
19. *Red Book of the Republic of Tatarstan (animals, plants, mushrooms)*, Ed. A. A. Nazirov, 760 (Kazan: Ideal-Pers, 2016).
20. *Red Book of the Samara Region. T. 1. Rare species of plants, lichen fungi*, Ed. G. S. Rozenberg and S. V. Saksonov, 372 (Institute of Ecology RAS, Togliatti, 2007).
21. *Red Book of the Sverdlovsk Region. Animals, plants, mushrooms*, 256 (Ekaterinburg: Basco, 2008).

22. *Red Book of the Tver Region*, 400 (Tver: Tverskoy Printed Yard, 2016).
23. *Red Book of the Udmurt Republic: Vascular Plants. Lichens. Mushrooms*, Ed. V. V. Tuganaev, 290 (Izhevsk: Udmurt. University, 2001).
24. *Red Book of the Ulyanovsk Region*, Ed. E. A. Artemieva, A. V. Maslennikov, M. V. Korepov, 550 (M.: Buki Vedi, 2015).
25. *Red Book of the Chelyabinsk Region: Animals, Plants, Mushrooms*, Ed. N. S. Korytin, 256 (Ekaterinburg: Publishing house Ural. University, 2005).
26. *Red Book of the Chita Region and the Aginsk Buryat Autonomous Okrug: Plants*, 344 (Chita, 2002).
27. *Red Book of the Yaroslavl Region*, Ed. L. V. Voronin, 384 (Yaroslavl: A. Rutman Publishing House, 2004).
28. Zlobin Yu. A. *Population ecology of plants: current state, growth points: monograph*, 263 p. (Sumy: University book, 2009).
29. Rabotnov T. A. Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses, *Tr. Nerd. Institute for them. V. A. Komarova*, **6**, 7 (Moscow, 1950).
30. Uranov A. A. Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and energy wave processes, *Scientific Reports of the Higher School. Biological Sciences*, **2**, 7 (1975).
31. Rabotnov T. A. *Phytocenology: a textbook for the biological faculties of universities*, 384 (Moscow: Izd-vo MGU, 1978).
32. Shennikov A. P. *Introduction to geobotany*, 447 (L., 1964).
33. Seybold S. Über die Größe von Populstionen höherer Pflanzen, *Jahresh. Ges. Naturk. Württrmberg*, **135**, 252 (1980).

УДК 159.91

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА С РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРИ ЗРИТЕЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ СТИМУЛОВ

Дягилева Ю. О., Котович А. С., Орехова Л. С., Михайлова А. А., Павленко В. Б.

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

Разработан набор зрительных стимулов, содержащих социально значимые (лица, взаимодействие людей) и нейтральные (сложные геометрические узоры) элементы. Стимулы предъявлялись с использованием прибора для регистрации движений глаз RED-250. В исследовании приняло участие 16 детей в возрасте от 2,1 до 4,2 лет. Выявлены особенности движений глаз у детей раннего возраста с расстройствами аутистического спектра (РАС) при восприятии социально значимых стимулов по сравнению со здоровыми детьми этого же возраста. Показано, что отличия по характеристикам движений глаз (среднее время фиксации, количество и длительность фиксаций) между двумя группами детей являются статистически значимыми. Дети с элементами РАС по сравнению с их здоровыми сверстниками фиксировали взгляд на социальном взаимодействии, детской игре и лицах детей в течение значимо меньших периодов времени. Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности применения данного набора стимулов при использовании трекинга взора в ранней диагностике РАС.

Ключевые слова: дети раннего возраста, расстройства аутистического спектра, социально значимые стимулы, зрительные стимулы, движения глаз, ай-трекинг.

ВВЕДЕНИЕ

Аутизм является заболеванием, которое создает острую социальную проблему. Дети с расстройствами аутистического спектра (РАС) особенным образом воспринимают социальную ситуацию и отгораживаются от реального мира [1, 2]. Число детей с РАС постоянно увеличивается, но причины заболевания до сих пор являются недостаточно изученными [3]. Существует множество теорий, объясняющих природу аутизма (психогенная, генетическая, органическая, психологическая), и каждая из них выделяет различные факторы, влияющие на возникновение заболевания [4, 5]. В настоящее время психиатры, психологи, педагоги занимаются разработкой методов диагностики и коррекции РАС. Считается, что симптоматику РАС можно нивелировать ранней коррекционной работой, поэтому особо актуальным становится поиск новых методов ранней диагностики. Однако существующих научных работ в этой области пока недостаточно, чтобы с точностью определить основные маркеры идентификации аутизма [6-9]. Одним из перспективных методов диагностики является регистрация

движений глаз испытуемого (ай-трекинг). Так, в исследовании продолжительности фиксации на определенных фрагментах видеофильма было выявлено, что 69 % времени показа дети с РАС рассматривали геометрические фигуры (социально незначимые фрагменты). Типично развивающиеся дети гораздо дольше смотрели на изображения людей (социально значимые объекты). Авторы исследования предположили, что чем больше времени ребенок тратит на рассматривание повторяющихся геометрических фигур, тем у него более тяжелая форма аутизма [8]. Однако предъявление подобного видеофильма иногда вызывает ощущение дискомфорта даже у взрослых людей, а обработка движений глаз при этом отличается значительной сложностью. Мы предположили, что у детей с РАС может отличаться восприятие даже статичных изображений. В связи с этим целью нашего исследования было выявление особенностей движений глаз у детей раннего возраста с элементами РАС при зрительном восприятии статичных изображений, включающих социально значимые стимулы. Такое исследование может быть важным для определения маркеров аутизма на ранних этапах развития ребенка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 16 детей в возрасте от 2,1 до 4,2 лет (5 девочек и 11 мальчиков). Дети были разделены на две группы. Экспериментальная группа состояла из 10 человек. В нее вошли дети с диагностированными элементами РАС, что подтверждалось заключением детского психиатра. Все дети этой группы имели схожую симптоматику: это одновременно недоразвитие речи, стереотипность движений, избегание зрительного контакта и т. д. Контрольная группа, 6 человек – типично развивающиеся дети. Запись ай-трекинга 4-х детей с РАС была удалена из-за значительных помех в калибровке. Базой проведения исследования была лаборатория психофизиологии центра коллективного пользования «Экспериментальная физиология». Основным методом исследования являлся трекинг движения глаз с помощью бесконтактной установки RED-250 (производства SensoMotoric Instruments – SMI). В установку входит видеочасть и точечные диоды, излучающие слабый инфракрасный свет. С помощью специальной программы компьютер обрабатывает изображение глаз, идентифицирует и локализует центры зрачка и роговичного блика и путем вычислений определяет расположение линии взора на ЖК экране монитора, экспонирующего стимульный материал. Нами был разработан набор стимулов в виде простых рисунков, содержащих лица людей, и в виде сложных композиций, включающих социально значимые фрагменты (социальное взаимодействие детей), а также нейтральную часть – рисунки, состоящие из геометрических фигур (рис. 1).

В течение всего сеанса регистрации движений глаз ребенок сидел на руках у матери. Перед показом группы стимулов проводилась калибровка движений глаз ребенка. В качестве основных показателей окулomotorной активности оценивалось среднее время фиксации, длительность фиксаций, количество фиксаций в зонах интереса. Зона интереса – это выделяемая экспериментатором часть картинка, по которой в дальнейшем представлены значения интересующих показателей (рис. 2). Принцип определения зон интереса основывался на выделении фрагментов,

изображающих детскую игру, детские лица (социально значимая часть картинки), и выделении в отдельные зоны интереса сложных геометрических фигур (нейтральная часть картинки).



Рис. 1. Пример стимульного изображения, содержащего социально значимую часть (детская игра) и нейтральную часть (геометрические фигуры).



Рис. 2. Пример выделения нескольких зон интереса в стимульном изображении.

Анализ полученных данных по интересующим показателям (среднее время фиксации, количество и время фиксации на разных частях предлагаемых картинок) обеспечивался компьютерной программой SMI BeGaze. Статистическая обработка проводилась при помощи непараметрического U-критерия Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе результатов зрительного восприятия ряда стимулов с помощью программы SMI BeGaze можно выделить такие основные тенденции:

При предъявлении ребенку простого рисунка лица человека дети и той и другой группы смотрели на социально значимые элементы лица (глаза, нос, рот). Однако предъявление сложных рисунков, содержащих одновременно социально значимые ситуации (игру детей) и нейтральную часть (геометрические фигуры), позволило выявить значимые различия в показателях движений глаз у детей двух исследуемых групп. Так, дети с элементами РАС при просмотре такого типа предъявляемых рисунков более длительно фиксировали взгляд на ярких предметах и геометрических фигурах, при этом не прослеживали взгляд детей и не обращали внимания на лица людей (рис. 3А). Дети контрольной группы четко прослеживали взгляд детей и более длительно смотрели на лица, изображенные на картинках (рис. 3Б).

А



Б



Рис. 3 Траектория движений глаз ребенка с элементами расстройств аутистического спектра (А), траектория движений глаз типично развивающегося ребенка (Б).

Среднее время фиксации взгляда детей экспериментальной группы на объектах в социально значимой области составило 327,8 мс, а у детей контрольной группы значимо больше – 442,0 мс (рис. 4).



Рис.4 Показатели среднего времени фиксации взгляда (мс) на социально значимых областях рисунка у здоровых детей (1) и у детей с элементами РАС (2). * – различия достоверны при $P \leq 0,05$.

Среднее время фиксации взгляда детей экспериментальной группы на объектах социально незначимой области составило 397,7 мс, а у детей контрольной группы – 377,5 мс. Таким образом, достоверные различия между средним временем фиксации взгляда контрольной и экспериментальной группы на социально незначимых областях отсутствуют.

Оценивалась также длительность фиксации взгляда на социально значимых и социально незначимых стимулах по отношению ко всему времени предъявления стимула (в %). Так, средний показатель относительного времени фиксации взгляда у детей экспериментальной группы на социально значимых стимулах составил 28,7 %, а у контрольной группы значимо больше – 46,3 %. (рис. 5).

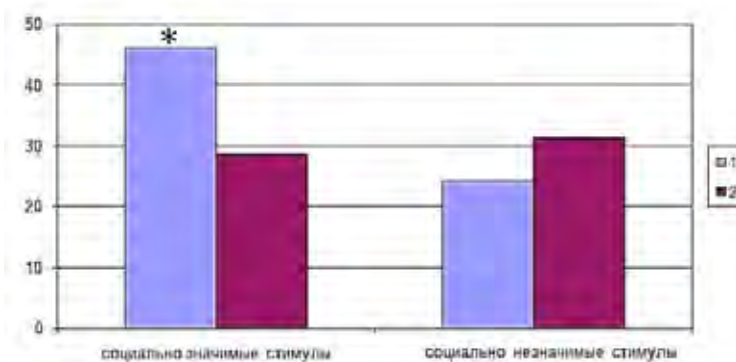


Рис. 5. Показатели относительной длительности фиксации взгляда (в %) на социально значимых и социально незначимых стимулах у детей контрольной (1) и экспериментальной групп (2). * – различия достоверны при $P \leq 0,05$.

Достоверных различий между относительными длительностями фиксации взгляда у детей экспериментальной (31,3 %) и контрольной – (24,2 %) групп на социально незначимых стимулах на картинках не обнаружено.

Также оценивалось количество фиксаций на социально значимых и социально незначимых стимулах (рис. 6). Среднее количество фиксаций на социально значимых стимулах у детей экспериментальной группы составляет 7,8, а у детей контрольной группы значимо больше – 12,7 единиц.

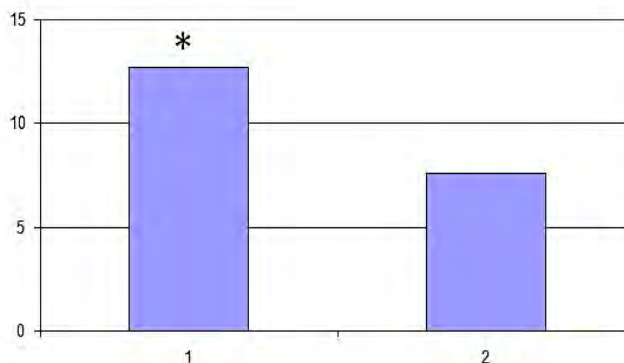


Рис. 6. Количество фиксаций взгляда контрольной (1) и экспериментальной (2) групп на социально значимых стимулах предъявленных изображений. * – различия достоверны при $P \leq 0,05$.

Достоверных различий в количестве фиксаций взгляда между контрольной (6,5 раз) и экспериментальной группой (7,9 раз) на социально незначимых стимулах картинки не обнаружено.

Таким образом, результаты наших исследований свидетельствуют, что при предъявлении сложных статичных изображений дети с РАС уделяют значительно меньшее внимание социально значимым фрагментам, чем типично развивающиеся дети. Полученные результаты могут быть объяснены на основе представлений о ключевой роли в развитии РАС нарушений функций системы «зеркальных» нейронов [10]. Согласно этим представлениям, указанная система обеспечивает имплицитное понимание социальных ситуаций типично развивающимися детьми. Предполагается, что дети с РАС неспособны к этому из-за аномалий в развитии «зеркальных» нейронов и избегают любых форм социального взаимодействия. Именно по этой причине в наших экспериментах дети с РАС могли избегать сколько-нибудь продолжительного рассматривания изображений других людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе исследования было выявлено, что и здоровые дети, и дети с элементами расстройств аутистического спектра (РАС) при предъявлении картинки лица человека смотрели на социально значимые элементы лица (глаза, нос, рот). Однако при просмотре изображений, в которых отражалось социальное взаимодействие (детская игра) и нейтральная часть рисунка, дети с элементами

РАС предпочитали смотреть на предметы и геометрические фигуры, в то время как здоровые дети обращали свое внимание на направление взгляда детей и их лица.

2. Дети с РАС демонстрируют значимо меньшие продолжительность и количество зрительных фиксаций на социально значимых областях изображений по сравнению с типично развивающимися детьми.
3. Применение разработанного стимульного материала и учет особенностей восприятия социально значимой информации детьми с РАС может явиться основой для дополнительного метода в диагностике РАС. На основе этого метода становится возможной постановка диагноза в раннем возрасте ребенка.

Работа поддержана грантом Государственного Совета Республики Крым для молодых ученых Республики Крым.

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. Неменчинская С. М. Развитие навыков социального общения у детей с синдромом раннего детского аутизма / С. М. Неменчинская // Вестник ЛГУ им. А. С. Пушкина. – 2014. – Т. 3, № 4. – С. 58–64.
2. Филиппова Н. В. Эпидемиология аутизма: современный взгляд на проблему / Н. В. Филиппова, Ю. Б. Барыльник // Психическое здоровье. – 2014. – Т. 11, № 12. – С. 70–73.
3. Аппе Ф. Введение в психологическую теорию аутизма / Ф. Аппе – М.: Теревинф, 2006. – 215 с.
4. Богдашина О. Б. Расстройства аутистического спектра: введение в проблему аутизма / О. Б. Богдашина // Красноярск: Издательство КГПУ. – 2012. – 248 с.
5. Детский аутизм: хрестоматия / Сост. Л. М. Шипицына – СПб.: Международный университет семьи и ребенка им. Р. Валленберга, 1997. – 281 с.
6. Disentangling the initiation from the response in joint attention: an eye-tracking study in toddlers with autism spectrum disorders / [L. Billeci, A. Narzisi, G. Campatelli, G. Crifaci, S. Calderoni, A. Gagliano, C. Calzone, C. Colombi, G. Pioggia, F. Muratori, ALERT group] // Transl Psychiatry. – 2016. – 6. – P. 808.
7. Impaired representational gaze following in children with autism spectrum disorder / [S. Congiu, R. Fadda, G. Doneddu, T. Striano] // Res Dev Disabil. – 2016. – 57. – P. 11–7.
8. Eye Tracking Reveals Abnormal Visual Preference for Geometric Images as an Early Biomarker of an Autism Spectrum Disorder Subtype Associated With Increased Symptom Severity / [K. Pierce, S. Marinero, R. Hazin, B. McKenna, C. Barnes, A. Malige] // Biol Psychiatry. – 2016. – 79(8). – P. 657–66.
9. Autism and emotional face-viewing / [C. Gillberg, Johnels Åsberg, D. Hovey, N. Zürcher, L. Hippolyte, E. Lemonnier, N. Hadjikhani] // Autism Res. – 2017. – 10(5). – P. 901–910.
10. Рамачандран В. Разбитые зеркала: теория аутизма / В. Рамачандран, Л. Оберман // В мире науки. – 2007. – № 3 – С. 31–37.

TRACKING OF EYE MOVEMENTS IN CHILDREN WITH ASD SYMPTOMS AT VISUAL PERCEPTION OF SOCIAL STIMULI

Dyagileva Yu. O., Kotovich A. S., Orehova L. S., Michailova A. A., Pavlenko V. B.

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

E-mail: anna-del-rey@mail.ru

The set of visual stimuli including socially significant (faces, interaction among people) and neutral (complex geometric patterns) elements was developed. These stimuli were presented with the help of the RED-250 eye-tracker. The sample consisted of 16 children aged from 25 to 50 months. All children were divided into two groups. Experimental group: children with ASD elements. Children of this group had been screened by a child psychiatrist and had such symptoms as stereotypic movements, avoidance of eye contact, speech delays. The control group included healthy children. The eye movements characteristics were detected and compared between the two groups. Significant differences were found between the groups of children in such characteristics of eye movements as mean fixation time, number and duration of fixations. The children with ASD elements were prone to attend less to the scenes depicting social interaction, children at play and the children faces. These results demonstrate the means of using eye-trackers in the early diagnosis of ASD.

Keywords: children of early age, autism spectrum disorders, socially significant stimulus, visual stimulus, eye movements, eye-tracking.

References

1. Nemenchinskay S. M. Development of social communication skills in children with the syndrome of Early Childhood Autism, *The bulletin of the Leningrad State University*, **4**, 58 (2014).
2. Filippova N. V., Baryl'nik Y. B. Epidemiology of autism: a modern view of the problem, *Mental Health*, **11**, 70 (2014).
3. Appee F. Introduction to the Psychological Theory of Autism, *Terevinf*, **215**, (2006).
4. Bogdashina O. B. Autism spectrum disorders: introduction to the problem of autism, *Publishing house KSPU*, **248** (2012).
5. Children's autism: reader, Comp. L. M. Shipitsyna, *St. Petersburg: International University of Family and Child named after R. Wallenberg*, **281** (1997).
6. Billeci L., Narzisi A., Campatelli G., Crifaci G., Calderoni S., Gagliano A., Calzone C., Colombi C., Pioggia G., Muratori F. Disentangling the initiation from the response in joint attention: an eye-tracking study in toddlers with autism spectrum disorders, *Transl Psychiatry*, **6**, 808 (2016).
7. Congiu S., Fadda R., Doneddu G., Striano T. Impaired representational gaze following in children with autism spectrum disorder, *Res Dev Disabil*, **57**, 11(2016).
8. Pierce K., Marinero S., Hazin R., McKenna B., Barnes C., Malige A. Eye Tracking Reveals Abnormal Visual Preference for Geometric Images as an Early Biomarker of an Autism Spectrum Disorder Subtype Associated With Increased Symptom Severity, *Biol Psychiatry*, **79**, 657 (2016).
9. Gillberg C., Johnels Åsberg, Hovey D., Zürcher N., Hippolyte L., Lemonnier E., Hadjikhani N. Autism and emotional face-viewing, *Autism Res*, **10**, 901 (2017).
10. Ramachandran V., Oberman L. Ripped Mirrors: The Theory of Autism, *In The World of Science*, **3**, 31 (2007).

УДК 581.93:502.72(477.75)

СЕЗОННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СТЕПЕЙ РАВНИННОГО КРЫМА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ПИРОГЕННОГО ФАКТОРА

Кобечинская В. Г., Андреева О. А.

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

В работе рассмотрено влияние пирогенного фактора на степные фитоценозы равнинного Крыма с учетом их сезонных перестроек. Изучены последствия воздействия его на растительные сообщества и их адаптационные механизмы к изменявшимся условиям среды обитания. Количественные оценки скорости этих процессов и их соотношений в разногодичной динамике раскрывают большую сбалансированность разнонаправленных процессов с учетом климатических факторов. Огонь и выпас вносят существенные коррективы в эти процессы, тем самым дестабилизируя их, формируя фитоценозы с упрощенной структурой. Поэтому проявляется адаптационная способность видов к пирогенному фактору. Пожары приводят к уничтожению ветоши и подстилки, из-за чего идет резкое нарушение процессов почвообразования, выпадают многолетние виды, которые были неустойчивы к пирогенному фактору. Это ведет к внедрению в данные сообщества при разрушении экологических ниш преимущественно однолетних сеgetальных и рудеральных видов.

Ключевые слова: пирогенный фактор, горельник, степные фитоценозы, антропогенная нагрузка, сезонная динамика, продуктивность.

ВВЕДЕНИЕ

Степные фитоценозы издавна формировались под влиянием двух ведущих антропогенных факторов: выпаса (особенно нерегулируемого) и пожаров (выжигание стерни для активизации оттавности травостоя). Поэтому в литературе имеются достаточно обширные данные по влиянию этих факторов в разных регионах страны [1–4], но детальные разногодичные исследования по последствиям воздействия огня на степные фитоценозы равнинного Крыма с выявлением адаптационных перестроек их структуры выполнены только авторами и носят оригинальный характер [5, 6].

Важными информационными факторами для раскрытия воздействия огня на сообщества могут служить как сложение и флористический спектр фитоценозов, так и хозяйственно-ботанические группы с их весовыми показателями при оценке разногодичных параметров продукционного-деструкционного процесса, протекающего в растительном покрове с учетом различных форм антропогенного влияния. Биологическая продуктивность степей Крыма исследовалась рядом авторов с оценкой общих объемов накапливаемой продукции с прикладных позиций сельскохозяйственной практики [7], но вопросы экологических последствий

деструкционно-демутационных процессов, которые идут с разной интенсивностью в этих сообществах, освещаются в данной работе впервые.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наши исследования осуществлялись на протяжении двух лет (2016–2017 гг.) в степях равнинного Крыма вблизи пгт Гвардейский Симферопольского района. Они проводились на трех пробных участках: № 1 – контрольный без антропогенных нагрузок, № 2 – многолетний горельник, № 3 – участок с интенсивной пасквальной нагрузкой, который в 2017 г. испытал еще и действие пирогенного фактора.

В ходе работы был выявлен полный флористический состав на пробных площадях. Номенклатура таксонов приведена согласно S. L. Mosyakin, M. M. Fedoronchuk [8] с дополнениями А. В. Ены [6]. Данный параметр чутко реагирует на интенсивность влияния антропогенных факторов через перестройку состава растительности.

Исследовали структуру горизонтального и вертикального сложения фитоценозов: оценивали общее проективное покрытие, видовую насыщенность на учетных площадках 0,1 м² в 50-кратной повторности, высоту травостоя, мозаичность ценопопуляций и их компонентный состав и др. с использованием стандартных геоботанических методик [9, 10]. Также изучали в сезонной динамике продукционный процесс в сравнительном аспекте на 3-х степных участках укосным методом с последующим высушиванием проб в лаборатории и камеральной обработкой полевого материала. Запасы надземной органической массы (живой и мертвой) наиболее полно отражают величину продуцируемого органического вещества растительностью и ее состояние по сезонам года. При этом выделялись в каждой пробе хозяйственно-ботанические группы: злаки, осоки, бобовые, мхи, лишайники, разнотравье.

Также вычленили отдельно подстилку и ветошь. Эти показатели крайне важны, т. к. подстилка влияет на воздушно-тепловой и водный режимы почвы, пополняя ее минеральными и органическими соединениями при деструкции мортмассы [11]. Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики. Ошибка средней величины для данных надземной массы составила $\pm 7\text{--}10\%$ [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участок № 1 – это контроль с полным отсутствием как выпаса, так и сенокосения, расположен вблизи военного аэродрома. На 100 м² здесь произрастает 58 видов цветковых растений, из них злаков – 9 (12 %), разнотравья – 49. Среди видов разнотравья главенствуют следующие семейства: Lamiaceae, Fabaceae и Asteraceae (38 % от общего количества видов). Общее проективное покрытие наиболее высоко – 90–95 %. Высота травостоя составляет 50–60 см.

Здесь выявлена ассоциация бородавчево-типчаково-васильковая.

Участок № 2 – это многолетний горельник, который заложен недалеко от поселка, где местные жители периодически для улучшения отавы травостоя поджигают осенью засохшую стерню. На пробной площади в 2016 г на 100 м² был выявлен 71 вид, из них: злаков – 11, разнотравья – 60. На следующий год их

численность снизилась до 63 в. из-за выпадения таких видов, как *Silenealba*, *Malvaneglecta*, *Potentillaargentea* и др. Такое высокое флористическое разнообразие обусловлено тем, что под влиянием пирогенного фактора в освободившиеся экологические ниши внедряется преимущественно однолетняя сеgetальная и рудеральная растительность, быстро меняющая свой компонентный состав на пробной площади. Спектр ведущих растений образуют 3 семейства: *Lamiaceae*, *Asteraceae* и *Roaceae* (всего 45 %). Общее проективное покрытие составляет 75–80 %. Средняя высота травостоя – 45–48 см. Здесь сформировалась ассоциация в 2016 г. – житняково-злаково-шалфейная, которая сменилась из-за перераспределения роли доминантных видов на злаково-тимьяно-шалфейную.

На пробной площади № 3 прослеживается влияние интенсивного выпаса и пирогенного фактора. Участок, расположенный вблизи поселка, испытывает интенсивную пасквальную нагрузку. Здесь на 100 м² выявлено всего 42 вида, из них: злаков – 7, разнотравья – 35. Доминируют семейства: *Asteraceae*, *Roaceae*, *Fabaceae* и *Lamiaceae* (56 % от общего количества). Высота травостоя – 25–30 см. Отмечено снижение проективного покрытия с 2016 г. (65–70 %) по 2017 г. (50–55 %). Небольшое снижение в показателях объясняется тем, что в 2017 г. участок подвергся в ранневесенний период воздействию пирогенного фактора и степной фитоценоз еще не успел адаптироваться к новым нагрузкам. Отмечена ассоциация – люцерново-мятликово-одуванчиковая.

Сравнивая показатели фитомассы в весенний период (2016–2017 гг.) на трех участках (рис. 1) выявлено, что ведущей группой в продукционном процессе является группа злаков, на втором месте по объему – группа разнотравья.

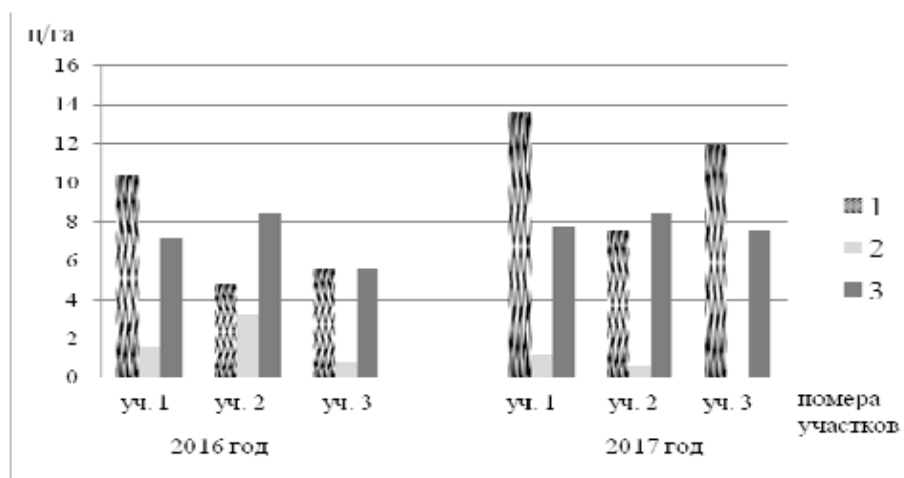


Рис. 1. Показатели фитомассы по биогруппам пробных участков окр. пгт Гвардейское (весна, 2016–2017): 1 – злаки, 2 – бобовые, 3 – разнотравье (ц/га).

С учетом длительного холодного периода весной (рис. 2) и хорошего увлажнения почвы в 2017 г. сдвинулись сроки начала вегетации для многих видов

на 2–3 недели. Здесь отмечено более обильное кущение злаков, что отразилось на их весовых показателях в пробах, на контрольном участке достигнув 13,5 ц/га. Напротив, группа разнотравья изменилась незначительно за изученный период (7,2–7,8 ц/га). Это обусловлено составом жизненных форм, здесь преобладают поликарпические травы, приращивающие свою биомассы преимущественно в первой половине лета.

На участке № 2 – многолетнем горельнике – значительно возросла биогруппа злаков с 2016 г. по 2017 г. (4,8–7,6 ц/га). Растительность приспосабливается к быстро изменяющимся условиям окружающей среды. Обнаженная почва после пожара с обилием зольных элементов и азота создает благоприятные условия для обновления ценопопуляций однолетних злаков [13], которые активно внедряются в этот фитоценоз.

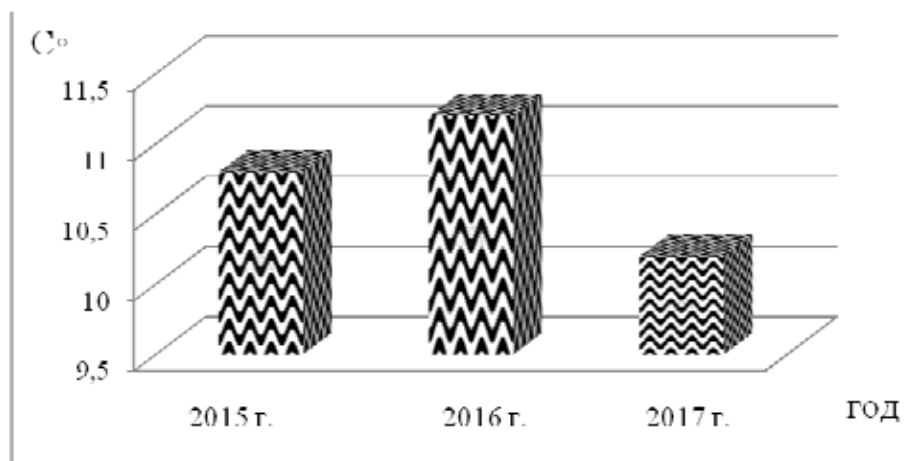


Рис. 2. Климатодиаграмма средних температур по данным 2015–2017 гг. (окр. пгт Гвардейское) в весенний период.

Зато отмечено резкое снижение биогруппы бобовых (3,2–0,6 ц/га), имея поверхностную корневую систему, они легко выпадают из состава травостоя, снижая свою позиции в растительном покрове. Это говорит о том, что свободные экологические ниши занимают более адаптированные виды к данному фактору. Биогруппа разнотравья по весовым показателям не изменилась (6,4 ц/га) за 2 года исследований. Это обусловлено также значительностью в ней группы однолетников, которые успевают обсемениться в травостое до осенних палов, обеспечивая устойчивый запас семян в почве и реализовывая свой потенциал на следующий год при ослабленных конкурентных взаимоотношениях после осенних пожаров.

На участке № 3 группа бобовых (преимущественно однолетники) представлена крайне незначительно в 2016 г. (0,8 ц/га), Она выпадает, в первую очередь, в связи с интенсивным выпасом на исследуемой территории. После воздействия огня весной 2017 г. бобовых вообще не выявлено в укосах. Для восстановления их позиций

нужно время, в дальнейшем можно будет проследить периоды их внедрения и увеличения роли в фитомассе растительности.

На этом участке также почти в 2,5 раза возросли весовые показатели злаковых за времена наблюдений (5,6–12,1 ц/га), что еще раз доказывает высокие адаптационные возможности данной био группы. При воздействии огня создаются благоприятные условия для омоложения ценопопуляций злаков [14].

Оценивая величину мортмассы, выявили, что на контроле в 2017 г. значительно возросли показатели ветоши по сравнению с прошлым годом (10,4–17,6 ц/га), но зато уменьшились объемы подстилки (14,8–11,2 ц/га) (рис. 3).

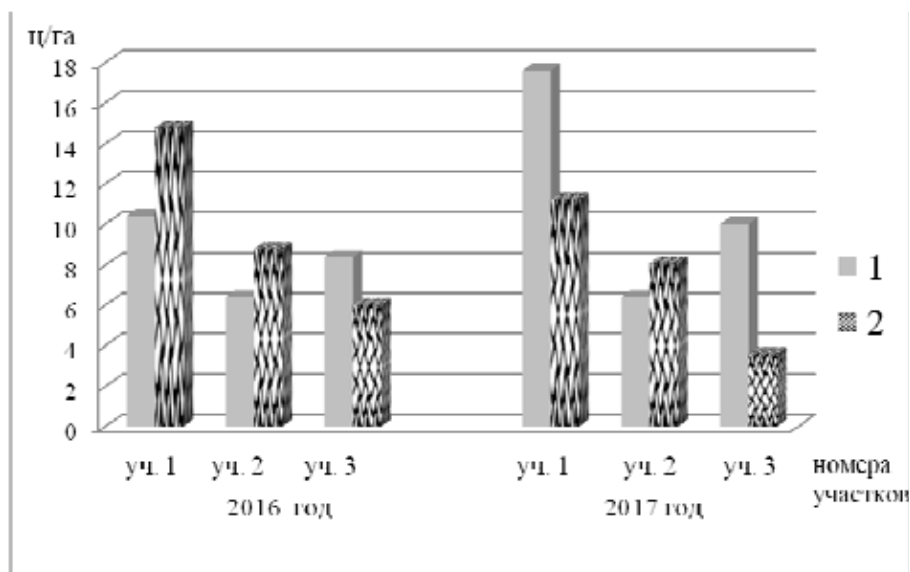


Рис. 3. Показатели общей биологической продуктивности окр. пгт Гвардейское (весна 2016–2017 гг.): 1 – ветошь, 2 – подстилка.

В высоком и густом травостое контрольного участка отмершие и отчлененные от материнского организма побеги долго сохраняют вертикальное положение и учитываются в ветоши, от чего количество последней оказывается завышенной. Кроме того, при обилии многолетних злаков в составе сообщества, благодаря высокому содержанию кремния в их стеблях, они долго удерживаются на материнских побегах, не переходя в подстилку и также повышая показатели ветоши [7].

На многолетнем горельнике (уч. № 2) практически не произошло никаких существенных изменений в показателях ветоши (6,4 ц/га) и подстилки (8,8–8,1 ц/га). Растительность данного степного массива хорошо приспособилась к экстремальным условиям выживания. Воздействие периодических палов (последний был в 2015 г.) и обилие монокарпиков в составе растительности определяют динамику запасов подстилки, которая пополняется за счет поступления в нее ветоши круглый год. Наибольшие запасы ее отмечены весной и осенью. В летнее время при высоких

температурах она активно разлагается и объемы ее уменьшаются. Поэтому сравнение ее запасов на 3 участках отражает интенсивность как процессов разложения с учетом разных форм антропогенного воздействия, так и адаптации флоры степей к динамике смены климатических характеристик в разные годы.

На участке с двойной антропогенной нагрузкой можно заметить существенное понижение запасов подстилки в 2017 г. (6–3,6 ц/га) из-за воздействия огня в самом начале весны.

Сравнивая общую биологическую продуктивность в весенний период (2016–2017 г.), можно отметить, что на участке №1 она увеличилась (44,4–51,4 ц/га) (рис. 4.).

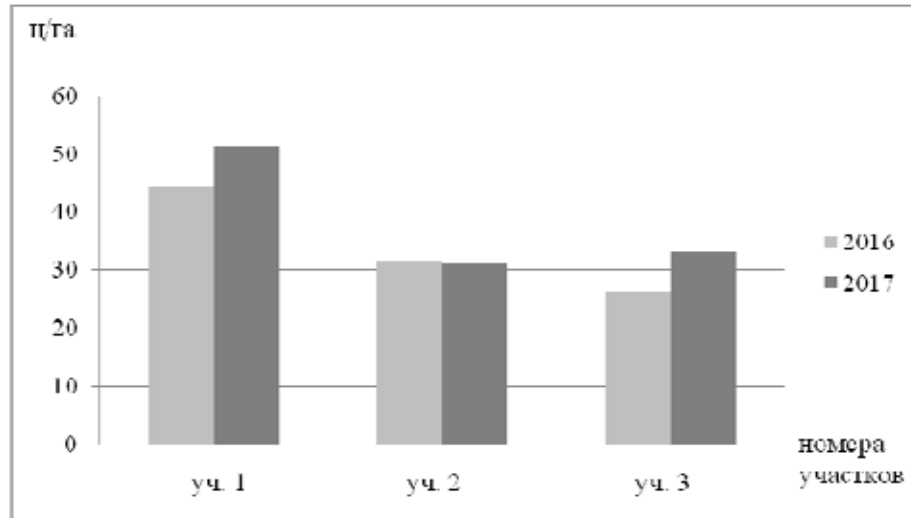


Рис. 4. Общая продуктивность в весенний период (2016–2017 гг.) на трех участках.

Зима в 2017 г. была холоднее, чем в предыдущем году (-13 °С). Весной также были отмечены низкие показатели температуры (+8 °С) по сравнению с 2016 г. Благоприятная среда для гумификации опада и подстилки в течение всего вегетационного периода, особенно в осенне-зимний период, в первый год наблюдений способствовала высокой активности продукционно-деструкционных процессов, которые повысили общие показатели продуктивности в весенний период 2017 г.

На пробной площади №2 практически не произошло значительных изменений (31,6–31,1 ц/га). Растительность приспособилась к пирогенному фактору, несмотря на разногодичную изменчивость климата.

На участке №3 в 2017 г. повысились общие показатели продуктивности (26,4–33,22 ц/га) после прохождения по этой территории огня. Он разрушает подстилку и способствует минерализации почвы, которая накапливает в себе

зольные элементы. Создаются благоприятные условия для омоложения ценопопуляций, особенно длиннокорневищных видов.

Сравнивая показатели фитомассы в летний период (2016–2017 гг.), установили, что на участке № 1 они незначительно снизились (12,4–11,2 ц/га) (рис. 5).

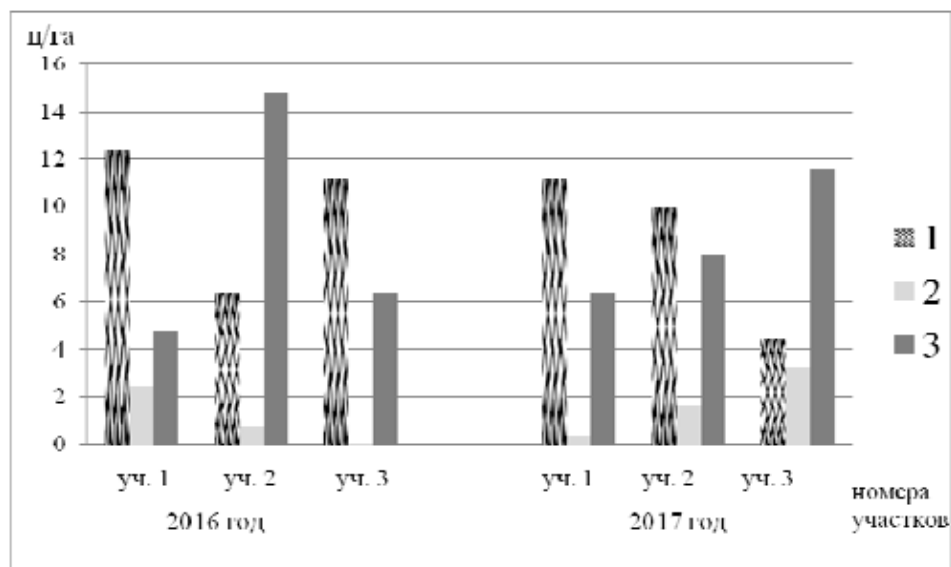


Рис. 5. Показатели фитомассы по биогруппам пробных участков в период максимального развития травостоя окр. пгт Гвардейское (лето, 2016–2017): 1 – злаки, 2 – бобовые, 3 – разнотравье (ц/га).

Здесь тоже сказывается влияние климата весной 2017 года и низких температур в начале июня (рис. 6). То же можно проследить и в группе бобовых (2,4–0,4 ц/га). Из-за того, что уменьшились соотношения бобовых и злаков, наблюдаются увеличения показателей фитомассы разнотравья (4,8–6,4 ц/га). В начале лета идет активное их развитие, быстрый прирост и медленное отмирание. В июне формируется более 60 % полного прироста всей фитомассы. С середины июля эти процессы замедляются и растягиваются на весь вегетационный период с постепенной активизацией деструкционных процессов.

К причинам, определяющим смену одних видов на другие в процессе воздействия огня, можно отнести средообразующее воздействие однолетников, которые, внедряясь в освободившиеся ниши после пожара, проявляют конкурентное сдерживание разрастания многолетних видов, характерных для этих фитоценозов, и тем самым не подтверждают положение о благоприятном влиянии растений более ранних стадий на последующие стадии сукцессий [14].

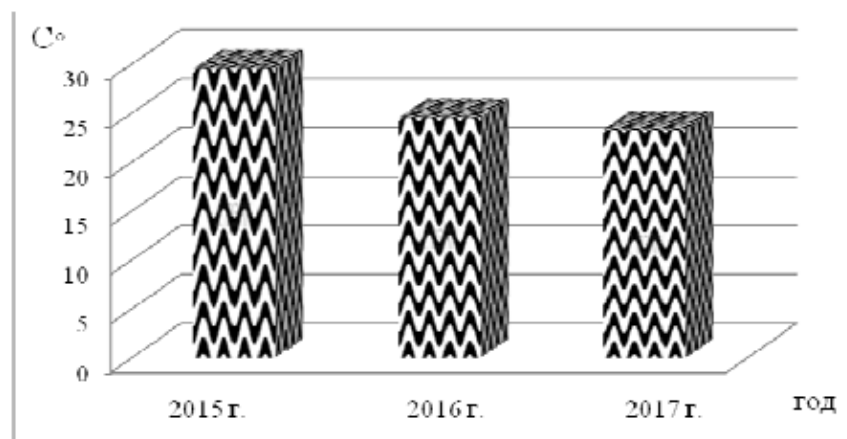


Рис. 6. Климатодиаграмма средних температур по данным 2015–2017 гг. (окр. пгт Гвардейское) в летний период.

На многолетнем горельнике прослеживаются увеличения фитомассы злаковых (6,4–10 ц/га) и бобовых (0,8–1,6 ц/га). Здесь наблюдается противоположный процесс. Если стали преобладать одни биогруппы, то они вытесняют другие. Показатели разнотравья снизились (14,8–8,1 ц/га). За период наших исследований такие изменения в весовых показателях биомассы свидетельствуют о том, что идут активные перестройки структуры степных фитоценозов под воздействием пирогенного фактора.

На участке № 3 отмечено снижение злаковых (11,2–4,4 ц/га). Поскольку палы были отмечены в весенний период, то биогруппа еще не успела восстановиться к летнему периоду, отсюда такие низкие показатели. Зато прослеживается восстановление позиций группы бобовых. После прохождения огня они увеличились в составе фитомассы (0,1–3,2 ц/га). Такая же динамика прослеживается и в группе разнотравья (6,4–11,6 ц/га).

Исследуя показатели детрита в летний период, установили, что на контроле не происходит значительных изменений (рис. 7). Так, биомасса ветоши в 2016 г. составляла 18,4 ц/га, а в 2017 г. – 18,8 ц/га. Поскольку произошло незначительное увеличение ветоши, то объемы подстилки в 2017 г., наоборот, снизились – 16,8 ц/га из-за благоприятных показателей увлажнения в летний период, создавших лучшие условия для ее деструкции. Образование мощной подстилки отрицательно влияет на приживаемость и рост молодых растений, возникающих из семян, тем самым затрудняя их семенное размножение и увеличивая участие вплоть до доминирования вегетативно размножающихся видов (костра безостого, пырея ползучего, тысячелистника щетинистого, лабазника обыкновенного и др.).

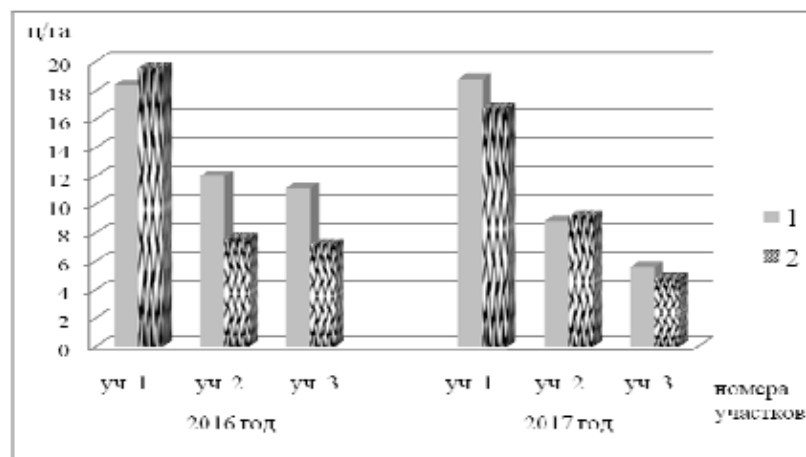


Рис. 7. Показатели общей биологической продуктивности окр. пгт Гвардейское в период максимального развития травостоя (лето 2016–2017 гг.): 1 – ветошь, 2 – подстилка.

На многолетнем горельнике, участке № 2, снизилась биомасса ветоши – 12–8,8 ц/га. Это явление можно объяснить тем, что на данном участке за период с 2016 по 2017 г. не происходило пожаров. Соответственно, степные фитоценозы стали приобретать признаки, которые присущи растительности контрольного участка. На участке с двойной антропогенной нагрузкой № 3 отмечены резкие снижения показателей ветоши (11,2–5, ц/га) и подстилки (7,2–4,8 ц/га). Поскольку в весенний период на данном участке был пожар, то хорошо прослеживается негативное воздействия этого фактора на растительную биомассу. Но с другой стороны, это улучшит состояние травостоя в дальнейшем, так как свободные экологические ниши занимают более приспособленные виды степных фитоценозов.

Сравнивая показатели общей биологической продуктивности в летний период времени (рис. 8), можем отметить, что на контроле произошли незначительные изменения (57,6–53,6 ц/га). Небольшие снижения биомассы наблюдаются из-за холодных температур в весенний период. Та же тенденция отмечается и на горельнике (уч. № 2) – 41,6–37,6 ц/га. На пробной площади № 3 снижаются показатели из-за того, что растительность в целом еще не приспособилась к новой нагрузке (36–29,6 ц/га).

В осенний период наблюдается снижение показателей на всех исследуемых участках (рис. 9). Биогруппа злаковых на контроле увеличилась по сравнению с прошлым годом (1,2–4,4 /га). Показатели группы разнотравья (0,16–2 ц/га) увеличились незначительно.

На горельнике эти величины для группы злаков остались низменными (3,2 ц/га). Биогруппа разнотравья (0,12–0,3ц/га) выросла незначительно.

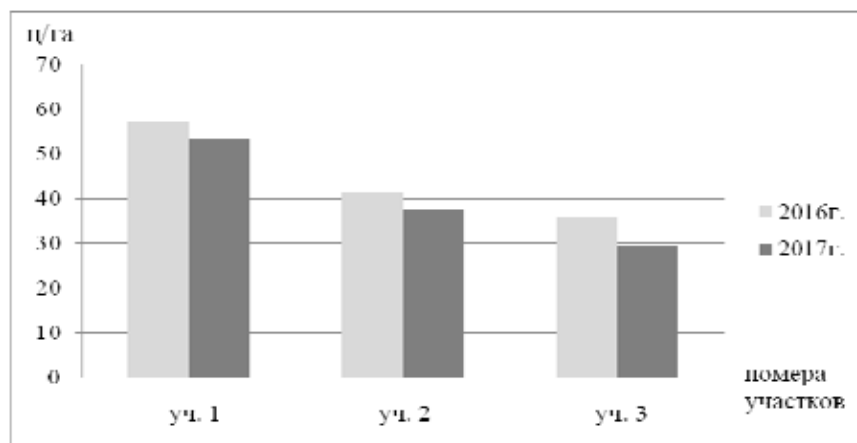


Рис. 8. Общая продуктивность в летний период (2016–2017 гг.) на трех участках (окр. пгт Гвардейское)

На пробной площади № 3 с двойной антропогенной нагрузкой заметно произошло увеличение весового участия злаков (1,2–2,8 ц/га) в составе фитомассы. Вследствие огневого воздействия в 2017 г. резко возросли показатели биомассы разнотравья (0,12–6,8 ц/га). Из-за пирогенного воздействия выпадают многолетние виды, которые не были устойчивы к огню, а это, в свою очередь, активизирует процесс внедрения в эти сообщества новых видов, которые смогут выдержать данную нагрузку. Биогруппа бобовых в укосах за осенний период 2016–2017 гг. не была выявлена.

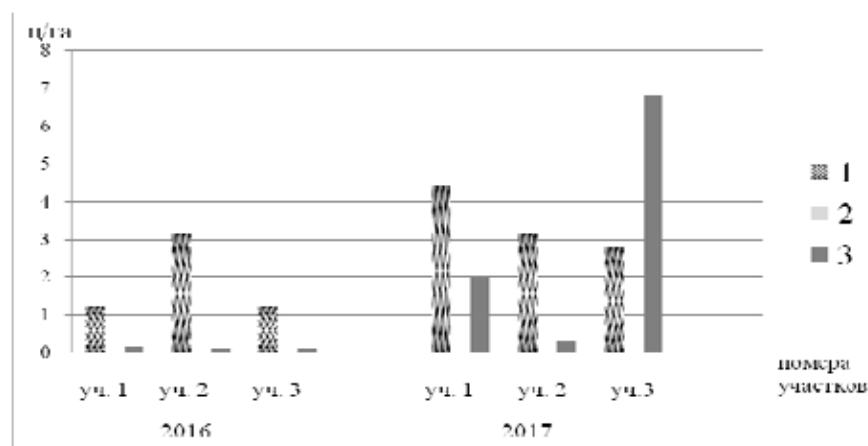


Рис. 9. Показатели фитомассы по биогруппам пробных участков в окр. пгт Гвардейское (осень, 2016–2017 гг.): 1 – злаки, 2 – бобовые, 3 – разнотравье (ц/га).

В осенний период фитомасса ветоши и подстилки на контроле возросла по сравнению с летним периодом (8,8 ц/га) (рис. 10).

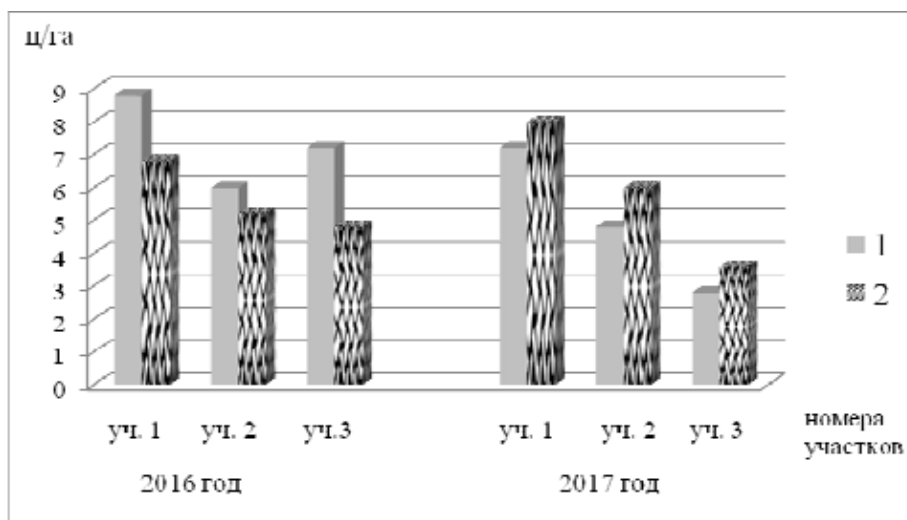


Рис. 10. Показатели общей биологической продуктивности окр. пгт Гвардейское (осень 2016–2017 гг.): 1 – ветошь, 2 – подстилка.

Соотношение показателей подстилки и ветоши не сильно отличается (8,8–6,8 ц/га), поскольку на контроле можно наблюдать гармоничное взаимодействие фитоценологических группировок. В связи с жарким летом 2017 г. фитомасса ветоши в 2017 г. снизилась по сравнению с прошлым годом (7,2 ц/га). Зато увеличились показатели подстилки – 6,8–8 ц/га. Высокое количество опада характерно для однолетников. Однолетники в данном случае выступают индикаторами спектра жизненных форм фитоценологических группировок. Самые значимые группы в осенний период – Роасеae (78 %).

На площади № 2 отмечено снижение показателей ветоши в 2017 г. по сравнению с прошлым годом (6–4,8 ц/га). На участке также главенствуют злаки, поскольку они выработали специальные адаптационные механизмы к этому лимитирующему фактору.

На участке № 3 отмечены самые низкие показатели ветоши и подстилки. В 2016 году они были выше, так как в то время данный степной фитоценоз претерпевал только одну нагрузку – усиленную пасквальную дигрессию. Но после прохождения огня в 2017 году биомасса ветоши (7,2–2,8 ц/га) и подстилки (4,8–3,6 ц/га) резко уменьшилась. В летний период идет быстрое разрушение однолетних отмерших растений, их минерализация, они практически не формируют подстилку, а на фоне интенсивного выпаса и прошедшего пожара, который полностью уничтожил подстилку прошлых лет, показатели мортмассы здесь самые низкие.

Рассматривая общую биологическую продуктивность, видим, что на контроле в связи с теплым летом 2017 г. она возросла (16,96–21,6 ц/га) (рис. 11).

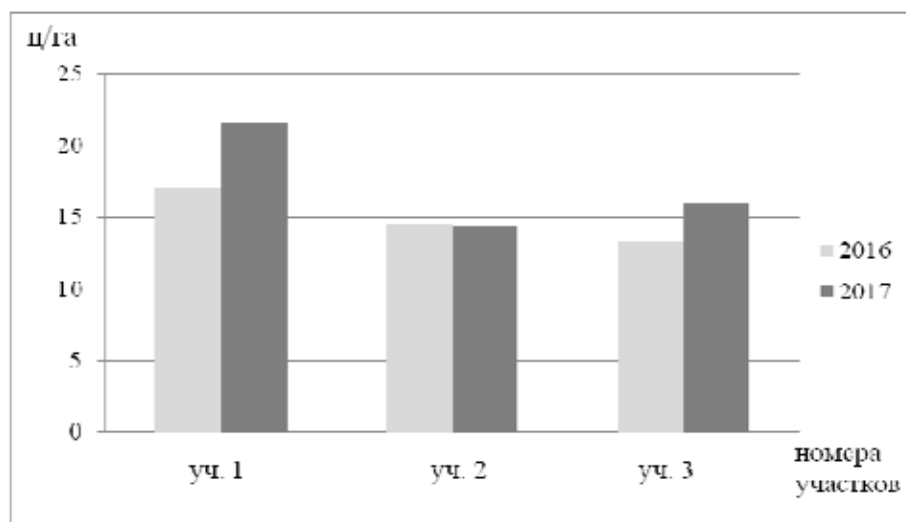


Рис. 11. Общая продуктивность в осенний период (2016–2017 гг.) на трех участках (окр. пгт Гвардейское).

На учетной площади № 2 эти показатели стабильны за годы исследований (5,2–6 ц/га). На участке № 3 показатели общей биологической продуктивности возросли, так как за летний период растительность уже успела немного восстановиться и адаптироваться к новым неблагоприятным факторам среды (13,3–16 ц/га). Процесс разрушения мертвого органического вещества влияет на повышение плодородия почв, что, в свою очередь, улучшает структуру почвенного профиля, а это уже способствует аккумуляции и доступности минеральных веществ растительности. Из-за этого идет повышение их общей продуктивности, что и отражает разногодичная динамика этого показателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя полученные данные, можно сделать следующее заключение о ходе продукционного процесса в степных фитоценозах равнинного Крыма. В степи, не подверженной антропогенной нагрузке, характерна известная уравновешенность процессов прироста и отмирания надземной фитомассы, растянутость прироста на весь вегетационный период с более интенсивной его активностью в первой половине лета. Быстрое отмирание во второй половине летнего периода и растянутость в нарастании процесса образования ветоши, флюктуирующая интенсивность перехода ветоши в подстилку, которая коррелирует с интенсивностью ее разложения. Количественные оценки скорости этих процессов и их соотношений в разногодичной динамике раскрывают большую сбалансированность разнонаправленных процессов с учетом климатических факторов. Огонь и выпас вносят существенные коррективы в эти процессы, дестабилизируя их, формируя фитоценозы с упрощенной структурой и

нестабильным флористическим составом, идет отбор на виды, которые адаптированы к этим факторам. С одной стороны, происходят фитоценотические перестройки и адаптации, которые приводят на первых этапах послепожарных сукцессий к повышению фитомассы растительности. На участках, пройденным огнем, главенствуют поликарпические корнеотпрысковые и длиннокорневищные растения, которые быстро отрачивают свою массу после пирогенного воздействия. С другой стороны, резко изменяется соотношение биогрупп, формирующих травостой степей, и биогруппа бобовых является самой уязвимой при степных пожарах. Они также приводят к уничтожению подстилки в степных фитоценозах, поэтому изменение экотопических условий существования видов ведет к выпадению многих многолетних видов, активизируя сукцессионные процессы. Следовательно, устойчивость фитоценозов или их уровень разрушенности связаны с соотношением интенсивности биотических и абиотических процессов. Чем ниже показатели внешнего воздействия, тем устойчивее фитоценоз и меньше норма его реакции на изменение условий окружающей среды.

Список литературы

1. Глаголев С. Б. Степные пожары: благо или вред (на примере заповедника Богдинско-Баскунчакский) / С. Б. Глаголев / Материалы III Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: история и современность» 17–20 мая. Волгоград, 2016. – С. 352–367.
2. Ильина В. Н. Пирогенное воздействие на растительный покров / В. Н. Ильина / Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии – 2011. – Т. 20, № 2.– С. 4–30.
3. Орловский С. Н. Борьба со степными пожарами выжиганием заградительных полос / С. Н. Орловский / Материалы конф. «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций» г. Железнодорожск Красноярского края, 17 июня, 2015. – Железнодорожск, 2015. – С. 36–40.
4. Павлейчик В. М. Степные пожары и проблемы модернизации природопользования / В. М. Павлейчик / Оптимизация структуры земельного фонда и модернизация природопользования в степных регионах России. Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (Оренбург). – Оренбург, 2015. – С. 40–50.
5. Андреева О. А. Влияние пожаров на продукционный процесс степей равнинного Крыма // О. А. Андреева, В. Г. Кобчинская / Конференция Ломоносов – 2016 в г. Севастополе. – Севастополь, 2016 [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2016. – С. 4.
6. Ена А. В. Природная флора Крымского полуострова / А. В. Ена // Симферополь: Н. Орианда, 2012. – 232 с.
7. Осынчук В. В. Первичная биологическая продуктивность степных фитоценозов УССР / В. В. Осынчук // Тезисы докладов V делегатского съезда Всесоюзного ботанического общества. Киев: Наукова думка, 1973. – С. 250–258.
8. Mosyakin S. L. Vascular Plants of Ukraine: a nomenclatural checklist / S. L. Mosyakin, M. M. Fedoronchuk. – Kiev :Kholodny Institute of Botany, 1999. – 345 p.
9. Злобин Ю. А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений / Ю. А. Злобин.- Казань: Изд. Казанского гос. унив., 1989. – 143 с.
10. Миркин Б. М. Современная наука о растительности / Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. – М.: Логос, 2002. – С. 114–144.
11. Титлянова А. А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозах. Метод.рук-во / А. А. Титлянова. – Новосибирск: Наука, 1971. – 136 с.
12. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.

13. Кобечинская В. Г. Изменение биоморфологической структуры фитоценозов степного Крыма под действием пирогенного фактора / В. Г. Кобечинская, О. А. Андреева / Всероссийская конференция молодых ученых «Техносфера XXI века». – Севастополь, 2016. – С. 40–41.
14. Николаев Е. В. Естественные пастбища Крыма / Е. В. Николаев, А. В. Ена, М. М. Мельников. – Симферополь, 2010. – 140 с.
15. Работнов Т. А. Экспериментальная фитоценология / Т. А. Работнов. – М.: МГУ, 1987. – С. 128–129.

SEASONAL PRODUCTIVITY OF THE STRAPS OF PLAIN CRIMEA UNDER THE INFLUENCE OF THE PYROGEN FACTOR ON THEM

Kobechinskaya V. G., Andreeva O. A.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: andreeva-oksana.94.3@mail.ru*

The influence of the pyrogenic factor on the steppe phytocenoses of plain Crimea with their seasonal reconstructions was examined. The consequences of its influence on plant communities and their adaptive mechanisms to the habitat changing conditions were studied. Quantitative speed evaluation of these processes and their relation in multiple dynamics reveal a great balance of multidirectional processes with considering climatic factors.

Fire and grazing make significant adjustments to these processes, thereby destabilizing them, forming phytocenoses with a simplified structure. Therefore, the adaptive ability of species to the pyrogenic factor is manifested. Fires lead to the destruction of dry litter of plants, because of which there is a sharp violation of soil formation processes, the perennial species that were unstable to the pyrogenic factor. It leads to introduction of annual segetal and ruderal species in given populations when the ecological niches are destroyed.

Keywords: pyrogenic factor, burner, steppe phytocenoses, anthropogenic load, seasonal dynamics, productivity.

References

1. Andreeva O. A., Kobuchinskaya V. G. Influence of fires on the production process of the steppes of the flat Crimea, *Conference "Lomonosov-2016 in the city of Sevastopol"* (Moscow: MAKS Press, 2016).
2. Glagolev S. B. Steppe fires are good or harm (on the example of the Bogdinsko-Baskunchaksky reserve, *Materials of the III International Scientific and Practical Conference "Anthropogenic transformation of geospace: history and modernity" May 17-20*, 352 (Volgograd, 2016).
3. Ena A. V. *Natural flora of the Crimean peninsula*, 232 (Simferopol: N. Orianta, 2012).
4. Zlobin Yu. A. *Principles and methods of studying the cenotic populations of plants*, 143 (Kazan: Izd. The Kazan state. univ., 1989).
5. Пыина В. Н. Pyrogenic effect on the vegetation cover, *Samara Luke: problems of regional and global ecology*, **20, 2**, 4 (Samara, 2011).
6. Kobuchinskaya V. G., Andreeva O. A. Change in the biomorphological structure of phytocenoses of the steppe Crimea under the influence of the pyrogenic factor, *All-Russian Conference of Young Scientists "Technosphere of the XXI Century"*, 40 (Sevastopol, 2016).
7. Lakin G. F. *Biometriya*, 343 (Moscow: Higher School, 1978).
8. Mirkin B. M., Naumova L. G., Solomensch A. I. *Modern science of vegetation*, 114 (M.: Logos, 2002).

9. Mosyakin S. L., Fedoronchuk M. M. *Vascular Plants of Ukraine: a nomenclatural checklist*, 345 (Kiev: Kholodny Institute of Botany, 1999).
10. Nikolaev E. V., Ena A. V., Melnikov M. M. *Natural pastures of the Crimea*, 140 (Simferopol, 2010).
11. Orlovsky S. N. Struggle against steppe fires by burning out barrages, *Materials of conf. "Monitoring, modeling and forecasting of hazardous natural phenomena and emergency situations" in Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Territory on June 17, 2015*, 36 (Zheleznogorsk, 2015).
12. Osynchuk V. V. Primary biological productivity of steppe phytocenoses of the Ukrainian SSR, *Abstracts of the reports at the delegate congress of the All-Union Botanical Society*, 250 (Kiev: Naukova Dumka, 1973).
13. Pavlychik V. M. Steppe fires and problems of environmental management modernization, *Optimization of the land fund structure and modernization of nature management in the steppe regions of Russia*. Institute of the steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Orenburg), 40 (Orenburg, 2015).
14. Rabotnov T. A. *Esperimentalnaya phytocenology*, 128 (Moscow: MSU, 1987).
15. Titlyanova A. A. *Study of the biological cycle in biogeocoenoses. Methodology*, 136 (Novosibirsk: Nauka, 1971).

УДК 159.91:612.821:159.923

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ИЗУЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОЙ ЛИЧНОСТИ: ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД

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*

Описывается область исследований современной психофизиологии и ряда смежных наук, изучающих биологические основы индивидуальных различий индивидуума. Обсуждается применение комплексного нейро- и психофизиологического подхода к изучению целостной личности. Перечисляются различные виды физиологического эраузала как психофизиологического конструкта, наиболее адекватно подходящего для исследования биологических основ личности. Рассматриваются преимущества и недостатки использования психофизиологических измерений. Приводятся методические приемы, необходимые для многостороннего психофизиологического изучения личности. В итоге обосновывается становление нового направления, проявляющегося на стыке нейронауки и психофизиологии и объединяющего психофизиологическую парадигму изучения личности и феноменологию личности, – Personality neuroscience.

Ключевые слова: психофизиология, нейронаука, психология личности, личность, эраузал, personality neuroscience.

Предметное поле классической психофизиологии и его трансформация в современных условиях. Область научного знания, изучающая отношения между психическими и физиологическими явлениями, называется психофизиологией [1, 2]. Общеизвестно, что предметом ее изучения являются «физиологические основы психической деятельности человека» [1, с. 4]. В свое время Х. Дельгадо и Е. Н. Соколов предлагали предметом психофизиологии сделать изучение нейронных механизмов психических процессов и состояний [цит. по: 3]. Согласно А. Р. Лурии, психофизиология должна изучать «сложные сознательные произвольно регулируемые формы психической деятельности» [цит. по: 4, с. 24]. В настоящее время, с учетом последних исследований, предметом психофизиологии является изучение «физиологических и нейронных механизмов психических процессов, состояний и поведения» [3, с. 9].

Предметная область данной науки, исследующая «естественнонаучные основы и предпосылки индивидуальных различий в психике и поведении человека» [5, с. 9], называется дифференциальной психофизиологией, или психофизиологией индивидуальных различий, актуальной задачей которой, по мнению В. Д. Небылицына, является «...раскрытие системы тех природных факторов индивидуальности, которые в своей совокупности и в своем взаимодействии

оказывают влияние на динамику ее психологических проявлений» [6, с. 30]. Б. М. Теплов считал, что «...систематическое исследование физиологических основ индивидуально-психологических особенностей не только желательно, но и совершенно необходимо для подлинно научного понимания психологических различий между людьми» [7, с. 6].

Психофизиология имеет междисциплинарные связи со многими науками, изучающими индивидуально-психологические особенности человека. Так, нейропсихология направлена на изучение мозговых механизмов высших психических функций в связи с локальными поражениями головного мозга, а такое ее направление, как дифференциальная нейропсихология (или нейропсихология индивидуальных различий), делает акцент на изучении «мозговой организации психических процессов и состояний у здоровых лиц» [4, с. 29]. Последнее, как считают многие ученые, работающие в данных областях наук, приводит к пересечению предметных полей и «исчезновению границ между нейропсихологией и психофизиологией» [5, с. 6].

Отмечается, что в современной науке происходит интеграция различных дисциплин (нейрофизиологии, нейрогенетики, нейрохимии, нейропсихологии, психофизиологии и др.), изучающих работу мозга, в единую нейронауку (neuroscience). «От успехов этой дисциплины будет зависеть то, насколько долго сохранится отдельная дисциплина психофизиология», резюмирует Е. И. Николаева [1, с. 6].

Важность психофизиологии как части нейронауки (neuroscience) очевидна, т. к. мы не можем воспринимать взаимосвязи «мозг – поведение» без опосредующего их анатомо-физиологического субстрата. В отечественной психологии первое наиболее серьезное изучение нейрофизиологических факторов индивидуально-психологических различий провели Б. М. Теплов и В. Д. Небылицын, предложив исследовать общие свойства нервной системы как параметры «регуляторной церебральной системы» [6].

Константин Мангина пишет, что больше чем столетие назад монументальные вклады И. М. Сеченова, И. П. Павлова и В. М. Бехтерева заложили базис для нашего понимания взаимосвязей «мозг – тело – поведение – окружающая среда» в виде теоретических, методологических, эмпирических и прикладных обоснований, лежащих в основе физиологии, функциональной нейроанатомии и психофизиологии. Далее К. Мангина резюмирует, что мы не сможем даже вообразить себе того, как мозг способен обрабатывать и решать очень сложные вопросы, не исследуя анатомо-физиологические детерминанты нейронных сетей, вовлеченных в мозговую организацию познавательных и эмоциональных процессов при нормальных или патологических состояниях организма и психики [8].

Задача нейронауки, по мнению Erol Başar и Sirel Karakaş, состоит в том, чтобы не ограничиваться выделением отдельных локусов мозга, а стремиться выявлять компоненты различных сложных систем, которые задействованы в генерации определенного психического феномена [9]. Этот тезис согласуется со взглядами основателей отечественной психофизиологии и нейропсихологии, постулировавших изучать мозговые структуры, ответственные за реализацию психических функций,

согласно системному принципу [4]. В последнее время и в области дифференциальной психофизиологии пытаются отойти от «конкретных работ, которые создали необозримое множество линейно связанных индивидуальных различий», и выйти на путь «системного исследования реальности целостной индивидуальности» [10].

Междисциплинарные исследования в области психологии личности.

Психология личности пытается описывать целостного индивидуума, т. е. его общие черты и индивидуальные различия [11]. В этом смысле, как считает Carolyn S. Morf [12], данная дисциплина находится в центре других наук, которые изучают движущие силы развития личности. Долгосрочная задача психологии личности как науки – суметь соединить отдельные механизмы и процессы разного уровня анализа и использовать их, чтобы характеризовать и предсказывать паттерны поведения, мысли и эмоции индивидуумов. Но эта задача требует выхода за границы традиционной науки. Психология личности, как рассуждает С. Morf, сконцентрирована на понимании функционирования и организации отличительных характеристик человека в целом. Поэтому исследование личности может объединить различные междисциплинарные уровни анализа, преодолеть произвольные линии разграничений науки и соединиться с релевантными междисциплинарными областями, посвященными пониманию психологических явлений независимо от традиционных границ науки. Это означает, что психология личности как наука должна изучать целостного индивидуума в его биологическом и социальном контексте, а именно биологический и генетический вклады в становление индивидуальности, периферические и центральные нервные механизмы, эмоциональные и познавательные процессы, так же, как и межличностные и социальные отношения, в которые вовлечен человек [12].

Ларри Хьелл и Дэниел Зиглер в своей книге отмечали, что «большинство персонологов сегодня согласны, что индивидуальные различия частично коренятся в биологических процессах и генетической предрасположенности. По мере увеличения наших знаний о биологической основе поведения и психических процессов в сочетании с развитием сложных исследовательских проектов, кажется, сопротивление пониманию личности в терминах биологии и генетики будет сломлено» [13, с. 597].

Междисциплинарную связь психологии и биологии признавал еще Gordon Allport (1937/1961) при определении черты личности, которую он упомянул как «нейро-физический объект». Много личностных конструктов (например, экстраверсия, нейротизм, импульсивность, агрессивность и др.) имеют не только познавательные, эмоциональные и социальные аспекты, но также и биологический компонент [14, 15]. С. Morf считает, что, описывая конструкт личности в широком смысле, мы в первую очередь должны понять вовлеченные в него биологические и нейрофизиологические процессы, генетический вклад и даже эволюционное значение данного феномена [12]. В этом перечислении, как мы полагаем, уже предложена программа междисциплинарного изучения целостной личности (индивидуальности), которую можно реализовывать в новом направлении,

проявляющемся на стыке нейронауки, дифференциальной психофизиологии и психологии личности, – «Personality neuroscience».

Таких междисциплинарных исследований к настоящему времени накопилось достаточно большое количество. Это широкий диапазон публикаций: начиная от работ о генетическом базисе личностных черт [16, 17] и «генотип-средовом взаимодействии» [14] и до исследований, использующих разнообразные нейробиологические, фармакологические, психофизиологические методы, чтобы выявить корреляты между физиологическими параметрами индивидуальности и элементами ее социального поведения [18, 19].

С. Morf отмечает, что в таких работах ученые не продвигают никакой формы биологического редуционизма, т. к. основные механизмы сознания (в англоязычной литературе используется термин «mind») и поведения полностью не объясняются только биологическим или социальным аспектом изучения [12]. При интерпретации выявленных взаимосвязей биологических и психологических феноменов должен применяться многоуровневый интегративный анализ поведения человека, о котором упоминают John T. Casierro и коллеги [20]. Редуционизм же стремится связать элементы социального поведения и их выражение в виде черт личности с генетически определенными биологическими факторами организма. То, что такие отношения есть и они валидны, – пишет С. Morf, – не вызывает теперь сомнений, но вызывает вопросы истинная природа таких отношений [12]. В свое время А. Р. Лурия также предостерегал исследователей от «физиологического редуционизма» как одной из форм упрощенного представления о физиологических механизмах психических процессов [цит. по: 4, с. 24].

Philip Corr замечает, что кажется привлекательным проверить биологические модели личности, регистрируя физиологические процессы, непосредственно используя периферические (например, кожно-гальваническую реакцию, КГР) и центральные (например, электроэнцефалограмму, ЭЭГ) параметры активности нервной системы. При этом он предостерегает, что исследователь должен обратить внимание на то, что прямые измерения не более «биологические», чем менее прямые – такие как поведенческие или вербальные ответы [21].

Ю. И. Александров такие классические психофизиологические исследования назвал «коррелятивной (сопоставляющей) психофизиологией», т. к. в них физиологические явления обычно напрямую соотносятся с психическими феноменами, и выявленная взаимосвязь объясняется терминами парадигмы реактивности. Это сопоставление, по мнению психологов, является малопродуктивным, т. к. подводит к представлению о том, что физиологические и психологические процессы являются тождественными. Тем более что такое коррелятивное сопоставление не требует специальной методологии, которая могла бы стать «концептуальным мостом» между психологией и физиологией [22, с. 290].

Gerhard Stemmler и Jan Wacker полагают, что доминирующая парадигма в биопсихологическом исследовании личности стремится устанавливать взаимосвязи между выраженностью эмоциональных, мотивационных черт (кросс-ситуативных повторяющихся индивидуальных различий) и параметров физиологической активности. Альтернативный подход концептуализирует черты как диспозиции,

которые активизируются только в определенных ситуативных контекстах. Следовательно, выявленные взаимосвязи будут релевантны только для черт, соответствующих ситуации, в которой включаются физиологические системы организма, лежащие в основе проявления данных черт личности [23].

По определению G. Stemmler и J. Wacker, психофизиологическое исследование личности стремится раскрыть биологические источники для константных (устойчивых) межличностных различий, проявляемых в поведении, мыслях и чувствах индивидуума. Центральное предположение данного подхода – что физиологическая активация есть поведение (сформулированное Engel, 1986) и – подобно наблюдаемому моторному поведению – это поведение, отражающее некоторую часть активности биологических поведенческих систем, связанных с личностью. Здесь же они уточняют, что это, конечно, не тот случай, когда «личность» может быть найдена где-нибудь в ядре мозга. Но мозг состоит из многих структур, регулирующих различные состояния организма (гомеостатическое, мотивационное, эмоциональное, когнитивное и др.). Учитывая разнообразие анатомических и функциональных структур, мозг человека воспроизводит специфическое поведение, мысли и восприятие себя, весьма уникальные для конкретного индивидуума [23].

Robert W. Levenson, обосновывая применение психофизиологических методов к исследованию личности, рассуждал следующим образом. Относительно природы личности мы будем принимать, что такой конструкт существует и, соответственно, существуют черты личности. Относительно физиологии будем предполагать, что различные физиологические процессы демонстрируют устойчивые отношения с психологическими явлениями, проявляющимися вне организма. Психофизиология может обеспечить некоторую информацию, которая не может быть получена как в частности, так и в целом при использовании других методов исследования. Он акцентирует, что многие из наиболее интересных вопросов в психологии это именно те, которые описывают взаимодействие сознания и тела. Психофизиология обеспечивает набор весьма доступных инструментов, чтобы изучать физиологические основы психики и поведения. Адекватное использование психофизиологического измерения применительно к какому-либо психологическому конструкту основывается на наличии физиологического основания в этом конструкте (например, изучение тревожности, нейротизма и пр.). Другие конструкты личности могут не иметь очевидного физиологического компонента, но можно построить косвенные теоретические умозаключения посредством различных объяснительных моделей (например, как теория беспокойства (anxiety) Грея или как теория arousal Айзенка) [24].

Психофизиологические конструкты и методы, применяемые при исследовании личности. Психофизиологические конструкты, которые наиболее хорошо подходят для исследования личности, – это различные виды физиологического эраузала (arousal). Феномен эраузала, рассматриваемый в пределах области современной психофизиологии, можно отнести не только к автономной нервной системе (АНС), но и намного шире [24].

Первый объект данного феномена – это мозг, а для психофизиологов, в частности, корковые области мозга. Корковый эраузал можно охарактеризовать в терминах количества ЭЭГ-активности, а именно соотношением спектральных мощностей в альфа- и бета-диапазонах. Техника регистрации и анализа вызванных потенциалов по их амплитуде и латентности также обеспечивает измерение коркового возбуждения или реактивности в ответ на действие стимула, но накладывает ограничения на стимулы: они должны быть короткими, дискретными и много раз повторяющимися. Кортикальный эраузал также демонстрирует и величина асимметрии межполушарной ЭЭГ-активности, возникающая при решении различных экспериментальных задач [24].

Другими видами физиологического эраузала являются измерение реактивности параметров симпатического и парасимпатического отделов АНС, дыхания (частоты и глубины), напряжения мышц, электродермальной активности (ЭДА) и пр., а также уровней концентрации гормонов эндокринной системы (адреналина и норадреналина) [24]. Однако главная проблема многих периферических измерений (особенно ЭДА и ЧСС) – это их относительная неспецифичность, т. е. зачастую не ясно, что точно измеряется. Однако уменьшить эту неуверенность может, как считает Р. J. Сорг, применение адекватной теории и экспериментального проекта.

Johan Ormel и соавт. в своем обзоре по изучению психофизиологического базиса нейротизма резюмируют, что относительно ранние исследования были сосредоточены на вопросе, как связаны черты личности с физиологическим ответом при использовании довольно общих и косвенных измерений активации периферических и центральных физиологических индикаторов, а также активности гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси. В этих работах измеряли показатели физиологического эраузала типа электрофизиологической активности мозга, проводимости кожи, уровней концентрации кортизола в моче или слюне [25]. Например, влиятельные психобиологические теории Айзенка (1967; 1985) и Грея (2000) постулируют, что нейротизм (или тревожность) отражает чрезмерный физиологический ответ (реактивность или возбуждение) некоторых мозговых систем [25].

Недостатками использования психофизиологических методов в данном случае являются, как считает R. W. Levenson, дороговизна оборудования, сложность процесса анализа получаемых данных и ограничения, накладываемые на поведение испытуемых в лабораторном исследовании. Ведь специфика психофизиологического эксперимента может обеспечить ответы только на правильно задаваемые простые вопросы, и много исследовательских вопросов в психологии не соответствует психофизиологическому обследованию. К тому же психофизиологические измерения не так концептуально богаты, как другие измерения в психологии. Например, показатель ЧСС сам по себе не имеет большого интереса для психолога, пока не рассматривается по отношению к другим элементам наблюдаемого поведения [24].

Преимущества же психофизиологических методов заключаются в том, что после наложения электродов данные могут быть получены при непрерывном измерении физиологической активности. Эта особенность находится в прямом

контрасте с измерением т. н. самосообщений, которые вмешиваются в «поток поведения» всякий раз, когда должны быть получены. В данном аспекте психофизиологические данные могут быть намного более достоверны, но намного менее валидны; а также могут использоваться в ситуациях, в которых самосообщения непригодны (например, исследование маленьких детей, лиц с низким интеллектом, в клинических случаях) [24].

К преимуществам относится и то, что психофизиологические измерения могут обнаружить достаточно небольшие физиологические изменения, которых индивидuum полностью не осознает. И здесь вопрос не в чувствительности данных измерений (например, доступны измерения с временем разрешения 1 сек и амплитудой 1 мкВ), а в отношении этих малых величин изменений к предмету исследования. Так, изменение тонуса лицевого мускула, незаметное наблюдателю, но регистрируемое электромиографом, может использоваться в психологии личности при исследовании проблемы эмоциональной реактивности. Особая же чувствительность психофизиологических измерений позволяет использовать и менее сильные стимулы, что особенно ценно в условиях клиники [24].

Однако главный критерий полезности психофизиологических данных, как полагает R. W. Levenson, – можно ли их привести к определенному конструкту, который а) может быть связан с поведением непосредственно или метафорически; б) субъекты могут быть дифференцированы и классифицированы в терминах количества этого конструкта, который они проявляют, т. е. показать физиологический эквивалент психологических индивидуальных различий, в) релевантные данные могут быть получены в условиях, которые не прерывают протекание поведения и личностных феноменов [24].

В настоящее время изучение биологического базиса личностных черт претерпело существенное изменение тематики и методологии исследований. Доступность методов нейровизуализации с лучшим пространственным разрешением постепенно переместила фокус исследований к проблематике возможных связей личностных черт с определенными мозговыми областями и их взаимодействием [25]. Таким образом, эти техники приблизили психологию к нейронаукам, т. к. появилась возможность установить, какие мозговые области вовлечены в выполнение различных задач [26].

Прогресс в отображении мозга поощрил попытки найти определенные нервные корреляты личностных черт (см. работы Hariri et al., 2006; Canli и Lesch, 2007; Stremers et al., 2010). Исследователи все чаще используют методы типа позитронно-эмиссионной томографии (PET), структурного и функционального магнитного резонанса (sMRI и fMRI), чтобы исследовать, как именно черты личности связаны с определенными мозговыми областями. Особенно полезен в данном случае метод fMRI, т. к. его пространственное разрешение превышает отображение других методов, и активность мозга индивидуумов может быть проанализирована при выполнении познавательных задач, релевантных для выявления определенных черт личности. Однако, как отмечает J. Ormel, преимущества томографических методов не обесценивают использование стандартных физиологических измерений, ведь

методы нейровизуализации могут быть важным дополнительным инструментом [25].

Нейровизуализация (neuroimaging), по мнению Р. J. Cogg и А. М. Perkins, считается теперь доминирующей методологией в психофизиологическом изучении личности [2]. Анализ результатов таких исследований постепенно отходит от изучения только локальной активации мозговых регионов к возможности экспертизы связей между областями мозга в пределах распределенных сетей [25].

Развитие новых технологий в изучении функционирования человеческого мозга показывает, что становится возможным визуализировать мозговые механизмы, вовлеченные в когнитивную и эмоциональную обработку информации, а также в социальное поведение, таким образом облегчая развитие теоретических положений об этих феноменах [12]. В то же время существует и скептическая точка зрения относительно вышеупомянутых методов, считающая, что их данные не отвечают на вопрос, «что» и «как» мозг реально обрабатывает сетями нейронала, а только предлагают ответ на вопрос «где», т. е. в некотором смысле представляют собой форму неофренологии [26].

В целом, можно резюмировать, что психофизиология, возникшая «как экспериментальная ветвь психологии, в значительной степени остается таковой и в настоящее время, компенсируя несовершенство теоретического фундамента многообразием и изошренностью методического арсенала» [5].

На пути к становлению нового направления «personality neuroscience». Применение психофизиологического инструментария для изучения психологических свойств личности все еще не получило должного развития. Проникновение понятийного аппарата и методологии исследования психофизиологии в психологию наиболее активно происходит все же за рубежом. А. М. Черноризов констатирует, что «практически все разделы и направления современной западной психологии развиваются (и в учебном, и в исследовательском плане) в тесной связи с психофизиологией и нейронауками в целом» [27].

G. Stemmler и J. Wacker полагают, что психофизиологический подход может объединить классическую психологию личности и нейропсихологию в единую науку [23]. В настоящее время за рубежом, как показывает анализ литературных данных, оформляется новое междисциплинарное направление, наиболее часто упоминаемое как «Personality neuroscience». Оно объединяет, по мнению ряда ученых, психофизиологическую парадигму исследования личности и собственно психологию личности [11].

Р. J. Cogg и А. М. Perkins полагают, что психофизиологическое изучение личности находится все еще на незрелой стадии технологического развития и появление новой технологии может затенить потребность в надлежащей теории. Они обрисовывают такую картину стандартных эмпирических исследований в психофизиологии. Обычно при психофизиологическом подходе для изучения индивидуальности берут некоторые (часто теоретически обоснованные) психофизиологические параметры (например, ЭМГ или ЧСС) и находят их связь с психометрическими чертами (например, с тревожностью) обычно в пределах

соответствующего экспериментального проекта с контролем релевантных независимых переменных. В лучшем случае так могут быть найдены только приблизительные соотношения, например между arousal, ЧСС и чертами личности. По их мнению, обоснованная теория принесет намного больше для понимания психофизиологических основ индивидуальных различий; она «отодвинет» исследователя от грубых корреляций между arousal, чертами, параметрами НС и обеспечит наконец-то ответ на вопрос «почему». Эта психофизиологическая теория должна опираться на результаты работ в таких разнообразных областях как, например, эволюционная теория, теория научения, этологический экспериментальный анализ и данные фармакологических изучений [2].

Как пример такой обоснованной психофизиологической теории Р. J. Corr описывает теорию RST (Reinforcement sensitivity theory), созданную Джеффри Греем [21]. Правомерность представлений о биологических основах личности, согласно теории RST, подтверждается уже молекулярно-генетическим анализом черт личности [17], а функциональные нейровизуальные изучения показывают нейробиологический базис RST-систем [28]. Теория RST может оказаться неопределимой в обеспечении концептуальных и нейрофизиологических основ личности для обоснования направления «Personality neuroscience».

В этом отношении ключевой вопрос для будущих исследований является следующим: каковы специфические функциональные роли мозговых областей, которые вовлечены в электрокортикальные (и нейровизуальные) изучения черт личности и как эти области взаимодействуют в поведенческой ситуации, релевантной проявлению определенной черты?

Э. А. Голубева в качестве наиболее перспективных направлений в психофизиологии выделила два: изучение биологических основ личности с использованием электрофизиологических методик и создание концептуальных схем, включающих биологическое наследие индивида [29, с. 21].

Возможный алгоритм исследований, необходимый для многостороннего психофизиологического изучения личности, согласуется с программой, предложенной Е. Н. Соколовым (2003) и реализующей принцип психофизиологического подхода: «человек – нейрон – модель». «Психофизиологическое исследование начинается с изучения поведенческих (психофизиологических) реакций человека, затем оно переходит к изучению механизмов поведения с помощью микроэлектродной регистрации нейронной активности в опытах на животных, а у человека – с использованием ЭЭГ и вызванных потенциалов. Интеграция данных психологии и физиологии осуществляется путем построения математической модели из нейроподобных элементов (т. н. нейронных сетей). При этом вся модель как целое должна воспроизводить результаты психологических экспериментов, а отдельные нейроподобные элементы должны обладать характеристиками и свойствами реальных нейронов» [цит. по: 5].

В свою очередь, S. Vazire и S. D. Gosling акцентировали внимание на одном из методологических приемов современной психофизиологии, который касается

привлечения данных экспериментов на животных в сравнительном аспекте, считая его еще одним уровнем анализа в многоуровневом подходе изучения личности [30].

Э. А. Голубева предлагает и другие обязательные методические приемы: «Психофизиологический подход в силу своей специфики обязательно предполагает использование психометрических методов, причем при изучении личности в целом...» [28, с. 22], а также «... требуется применение различных способов математического описания связей (линейных и нелинейных) между признаками одного уровня или между разными иерархическими уровнями» [28, с. 28].

Таким образом, все вышеописанное указывает на то, что на стыке нейронауки и психофизиологии давно назрела необходимость появления нового междисциплинарного направления – Personality neuroscience, объединяющего психофизиологическую парадигму изучения личности и феноменологию личности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было описано выше, комплексное изучение целостной личности (и ее биологических основ) должно включать интеграцию теорий и методов многих смежных наук о человеке, которые накопили уже некоторые результаты исследований, отображающих взаимосвязь между различными биологическими параметрами и индивидуально-психологическими характеристиками личности. Это изучение предполагает регистрацию и анализ многих показателей, относящихся к трем уровням функционирования индивидуума: физиологическому, психологическому и поведенческому. Выполнению задачи поиска мозгового субстрата психических феноменов могут способствовать методы спектральной обработки ЭЭГ – ее корреляционный и когерентный анализ. Психофизиологический подход в изучении личности (индивидуальности) сделал существенный прогресс в последние годы, особенно при использовании дополнительных технологических инноваций (например, функционального neuroimaging) и частично – в результате появляющегося теоретического согласия относительно структуры и природы основных изучаемых психологических феноменов.

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. Николаева Е. И. Психофизиология. Психологическая физиология с основами физиологической психологии / Е. И. Николаева. – М. : ПЕР СЭ; Логос, 2003. – 544 с.
2. Corr P. J. The role of theory in the psychophysiology of personality: From Ivan Pavlov to Jeffrey Gray / P. J. Corr, A. M. Perkins // International J. of Psychophysiology. – 2006. – Vol. 62, No. 3. – P. 367–376.

3. Данилова Н. Н. Психофизиология / Н. Н. Данилова. – М. : Аспект Пресс, 2012. – 368 с.
4. Хомская Е. Д. Нейропсихология / Е. Д. Хомская. – СПб. : Питер, 2005. – 496 с.
5. Марютина Т. М. Введение в психофизиологию / Т. М. Марютина, О. Ю. Ермолаев. – М. : РАО, Московский психолого-социальный университет: Флинта, 2014. – 399 с.
6. Небылицын В. Д. Психофизиологические исследования индивидуальных различий / В. Д. Небылицын. – М. : Наука, 1976. – 336 с.
7. Теплов Б. М. Проблемы индивидуальных различий / Б. М. Теплов. – М. : Издательство Академии педагогических наук РСФСР, 1961. – 536 с.
8. Mangina C. A. Historical milestones of Neuroscientific Psychophysiology / C. A. Mangina // *International J. of Psychophysiology*. – 2009. – Vol. 73. – P. 76–80.
9. Başar E. Neuroscience is awaiting for a breakthrough: An essay bridging the concepts of Descartes, Einstein, Heisenberg, Hebb and Hayek with the explanatory formulations in this special issue / E. Başar, S. Karakaş // *International J. of Psychophysiology*. – 2006. – Vol. 60, No. 2. – P. 194–201.
10. Базылевич Т. Ф. Современная дифференциальная психофизиология: от аналитических – к системным исследованиям / В книге «Идея системности в современной психологии» / ред. Барабанщиков В. А. – М. : Институт психологии РАН, 2005. – 495 с.
11. Borghans L. Identification problems in personality psychology / L. Borghans, B. H. H. Golsteyn, J. Heckman, J. E. Humphries // *Personality and Individual Differences*. – 2011. – Vol. 51, No. 3. – P. 315–320.
12. Morf C. C. Personality at the hub: Extending the conception of personality psychology / C. C. Morf // *Journal of Research in Personality*. – 2002. – Vol. 36. – P. 649–660.
13. Хьюэлл Л. А. Теории личности. Основные положения, исследования и применение / Л. А. Хьюэлл, Д. Дж. Зиглер. – СПб. : Питер, 2001. – 608 с.
14. 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.
15. Конарева И. Н. Электрографические корреляты агрессивности как свойства личности (обзор) / И. Н. Конарева // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2012. – Т. 25 (64), № 4. – С. 98–110.
16. Алфимова М. В. Генные основы темперамента и личности / М. В. Алфимова, В. И. Трубников // *Вопросы психологии*. – 2000. – № 2. – С. 128–139.
17. Reuter M. Molecular genetics support Gray's personality theory: The interaction of COMT and DRD2 polymorphisms predicts the behavioral approach system / M. Reuter, A. Schmitz, P. Corr, J. Hennig // *International J. of Neuropsychopharmacology*. – 2006. – Vol. 9, No. 2. – P. 155–166.
18. Конарева И. Н. Кардиоинтервалографические корреляты мотивационных свойств личности / И. Н. Конарева // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 119–129.
19. Конарева И. Н. Кардиоинтервалографические корреляты психологического адаптационного потенциала / И. Н. Конарева // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 98–107.
20. Cacioppo J. T. Multilevel integrative analyses of human behavior: Social Neuroscience and the complementing nature of social and biological approaches / J. T. Cacioppo, G. G. Berntson, J. F. Sheridan, M. K. McClintock // *Psychological Bulletin*. – 2000. – Vol. 126, No. 6. – P. 829–843.
21. Corr P. J. Reinforcement sensitivity theory and personality / P. J. Corr // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2004. – Vol. 28, No. 4. – P. 317–332.
22. Психофизиология: Учебник для вузов / Под ред. Ю. И. Александрова. – СПб. : Питер, 2001. – 496 с.
23. Stemmler G. Personality, emotion, and individual differences in physiological responses / G. Stemmler, J. Wacker // *Biological Psychology*. – 2010. – Vol. 84. – P. 541–551.
24. Levenson R. W. Personality research and psychophysiology: General considerations / R. W. Levenson // *J. of Research in Personality*. – 1983. – Vol. 17. – P. 1–21.
25. Ormel J. The biological and psychological basis of neuroticism: Current status and future directions / J. Ormel, A. Bastiaansen, H. Riese, E. H. Bos, M. Servaas, M. Ellenbogen, J. G. M. Rosmalen, A. Aleman // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2013. – Vol. 37, No. 1. – P. 59–72.
26. Grillner S. Integrative neuroscience: linking levels of analyses / S. Grillner, A. Kozlov, J. H. Kotaleski // *Current Opinion in Neurobiology*. – 2005. – Vol. 15, No. 5. – P. 614–621.

27. Черноризов А. М. «Проблемное поле» современной психофизиологии: от нанонейроники до сознания / А. М. Черноризов // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2007. – № 3. – С. 15–43.
28. Reuter M. Personality and emotion: test of Gray's personality theory by means of an fMRI study / M. Reuter, R. Stark, W. P. Kirsch, A. Schienle, D. Vaitl, J. Hennig // Behavioural Neuroscience. – 2004. – Vol. 118. – P. 462–469.
29. Голубева Э. А. Способности. Личность. Индивидуальность / Э. А. Голубева. – Дубна: Феникс+, 2005. – 512 с.
30. Vazire S. Bridging psychology and biology with animal research / S. Vazire, S. D. Gosling // American Psychologist. – 2003. – P. 407–408.

PSYCHOPHYSIOLOGICAL PARADIGM LEARNING INTEGRITY OF THE INDIVIDUAL: INTEGRATIVE APPROACH

Konareva I. N.

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

It is described the research area in modern psychophysiology and in related sciences which study the biological basis of individual differences of the individual. The application of complex neuro- and psycho-physiological approach to studying the whole personality is discussed. It is listed the various types of physiological arousal as a psychophysiological construct most adequately suited for studying the biological bases of personality. The advantages and disadvantages of using psychophysiological measurements are considered. Methodical techniques which are necessary for multi-psycho-physiological studying personality are given. It is justified, as the result, the becoming of a new trend, which manifests itself at the intersection of neuroscience and psychophysiology and unifying paradigm for psychophysiological study and phenomenology of personality – Personality neuroscience.

Keywords: psychophysiology, neurosciences, psychology of the person, the personality, arousal, personality neuroscience.

References

1. Nikolaeva E. I., *Psychophysiology. Psychological physiology with the basics of physiological psychology*, 544 (Per SE; Logos, Moscow, 2003).
2. Corr P. J. and Perkins A. M., The role of theory in the psychophysiology of personality: From Ivan Pavlov to Jeffrey Gray, *International Journal of Psychophysiology*, **62**, 3, 367 (2006).
3. Danilova N. N., *Psychophysiology*, 368 (Aspect Press, Moscow, 2012).
4. Khomskaya E. D., *Neuropsychology*, 496 (Piter, St. Petersburg, 2005).
5. Maryutina T. M. and Ermolaev O. Yu. *Introduction to psychophysiology*, 399 (Russian Academy of Education, Moscow Psychological and Social University, Flinta, Moscow, 2014).
6. Nebylitsyn V. D., *Psychophysiological studies of individual differences*, 336 p. (Science Moscow, 1976).
7. Teplov B. M. *Problems of individual differences*, 536 (Moscow, Publishing house of the Academy of Pedagogical Sciences, 1961).
8. Mangina C. A., Historical milestones of Neuroscientific Psychophysiology, *International Journal of Psychophysiology*, **73**, 76 (2009).

9. Başar E. and Karakaş S., Neuroscience is awaiting for a breakthrough: An essay bridging the concepts of Descartes, Einstein, Heisenberg, Hebb and Hayek with the explanatory formulations in this special issue, *International Journal of Psychophysiology*, **60**, 2, 194 (2006).
10. Bazylevich T. F., Modern differential psychophysiology: from analytical – to system research, In the book *"The idea of systemic in modern psychology"*. Ed. V. A. Barabanshikov, 495 (Institute of Psychology of the RAS, Moscow, 2005).
11. Borghans L., Golsteyn B. H. H., Heckman J. and Humphries J. E., Identification problems in personality psychology, *Personality and Individual Differences*, **51**, 3, 315 (2011).
12. Morf C. C., Personality at the hub: Extending the conception of personality psychology, *Journal of Research in Personality*, **36**, 649 (2002).
13. Hjelle L. and Ziegler D., *Personality Theories: Basic Assumptions, Research, and Applications*, 608 (Piter, St. Petersburg, 2001).
14. *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).
15. Konareva I. N., Electrographic correlates of aggressiveness as a property of the personality (a review), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **25 (64)**, 2, 98 (2012).
16. Alfimova M. V. and Trubnikov B. I., Genes basis of temperament and personality, *Voprosy Psichologii*, **2**, 128 (2000).
17. Reuter M., Schmitz A., Corr P. and Hennig J., Molecular genetics support Gray's personality theory: The interaction of COMT and DRD2 polymorphisms predicts the behavioral approach system, *International Journal of Neuropsychopharmacology*, **9**, 2, 155 (2006).
18. Konareva I. N., Cardiointervalographic correlates of motivational properties of the personality, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **24 (63)**, 4, 119 (2011).
19. Konareva I. N., Cardiointervalographic correlates of the psychological adaptational potential, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **25 (64)**, 1, 98 (201).
20. Cacioppo J. T., Berntson G. G., Sheridan J. F. and McClintock M. K., Multilevel integrative analyses of human behavior: Social Neuroscience and the complementing nature of social and biological approaches, *Psychological Bulletin*, **126**, 6, 829 (2000).
21. Corr P. J., Reinforcement sensitivity theory and personality, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **28**, 4, 317 (2004).
22. *Psychophysiology: A Textbook for High Schools*, Ed. Y. I. Alexandrov, 496 (Piter, St. Petersburg, 2001).
23. Stemmler G. and Wacker J., Personality, emotion, and individual differences in physiological responses, *Biological Psychology*, **84**, 541 (2010).
24. Levenson R. W., Personality research and psychophysiology: General considerations, *Journal of Research in Personality*, **17**, 1 (1983).
25. Ormel J., Bastiaansen A., Riese H., Bos E. H., Servaas M., Ellenbogen M., Rosmalen J. G. M. and Aleman A., The biological and psychological basis of neuroticism: Current status and future directions, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **37**, 1, 59 (2013).
26. Grillner S., Kozlov A. and Kotaleski J. H., Integrative neuroscience: linking levels of analyses, *Current Opinion in Neurobiology*, **15**, No. 5, 614 (2005).
27. Chernorizov A. M., «The problem field» of modern psychophysiology: from nanoneuronics to consciousness, *Moscow University Psychology Bulletin, Series 14. Psychology*, **3**, 15 (2007).
28. Reuter M., Stark R., Kirsch W. P., Schienle A., Vaitl D. and Hennig J., Personality and emotion: test of Gray's personality theory by means of an fMRI study, *Behavioural Neuroscience*, **118**, 462 (2004).
29. Golubeva E. A., *Abilities. Personality. Individuality*, 512 p. (Phoenix +, Dubna, 2005).
30. Vazire S. and Gosling S. D., Bridging psychology and biology with animal research, *American Psychologist*, 407 (2003).

УДК 577.112:612

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЭРИТРОЦИТАХ ПРИ ЦИРРОЗЕ ПЕЧЕНИ

*Коношенко С. В.¹, Каракурсакова З. В.¹, Елкина Н. М.², Крутиков С. Н.²,
Казакова В. В.², Загноенко Н. Е.²*

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

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

E-mail: nataleiolkina@gmail.com

Показано, что при циррозе печени в мембранах эритроцитов интенсифицируются реакции перекисидации липидов, о чем свидетельствуют снижение количественного содержания общих липидов и повышение содержания первичных и вторичных продуктов ПОЛ.

Вместе с этим в эритроцитах изменяется активность антиоксидантных ферментов: снижается активность глутатионредуктазы и повышается активность каталазы и супероксиддисмутазы. Наиболее выраженные изменения проявляются в активности каталазы и глутатионредуктазы.

Ключевые слова: эритроциты, перекисидация липидов, каталаза, супероксиддисмутаза, глутатионредуктаза, цирроз печени.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современной медицины и биологии является изучение биохимических изменений в организме человека при различных заболеваниях и патологических состояниях, сопровождающихся развитием окислительного стресса [1–3]. Известно, что окислительный стресс является следствием нарушения прооксидантно-оксидатного равновесия и чрезмерного генерирования активных форм кислорода (АФК) как радикальной, так и нерадикальной природы [4].

Мишенью действия АФК могут быть различные органические соединения, в частности липиды и протеины. По этой причине существенные деструктивные процессы осуществляются прежде всего на уровне клеточных мембран. Однако и другие внутриклеточные структурные образования могут быть «атакованы» АФК, претерпевая т. н. окислительную модификацию [4].

Вместе с этим накопилось достаточно большое количество данных, свидетельствующих о вовлечении эритроцитов в окислительный стресс при ряде заболеваний, об изменении их биохимического состояния в этих условиях [5–8], и представляется важным понять, какие из этих изменений имеют адаптивный характер и каким образом можно было бы использовать показатели

эритроцитарного метаболизма в качестве маркера для оценки степени тяжести патологии и прогнозирования дальнейшего течения болезни.

Одной из патологий, недостаточно изученных в этом аспекте, является цирроз печени. В связи с этим целью настоящей работы было изучение процессов перекисидации липидов и активности отдельных антиоксидантных ферментов в эритроцитах при циррозе печени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили эритроциты практически здоровых людей (контрольная группа – 25 человек, средний возраст – 42,0 года) и больных циррозом печени (20 человек, средний возраст – 45,0 года). Кровь больных брали на базе ГБУЗ РК «Клиническая больница № 7» г. Симферополя, кровь практически здоровых людей – на базе ГБУЗ РК «Центр крови» (г. Симферополь). Кровь больных брали при поступлении в стационар, перед началом лечения.

Эритроциты гемолизировали, добавляя равный объем дистиллированной воды [9]. Мембраны эритроцитов отделяли от гемолизата центрифугированием при 8000 об/мин. в течение 20 мин. В мембранах эритроцитов определяли содержание общих липидов [10], а также первичных [11] и вторичных [12] продуктов перекисидации липидов (ПОЛ). В гемолизате эритроцитов определяли активность каталазы [13], глутатионредуктазы [14] и супероксиддисмутазы [15].

Полученные данные обрабатывали статистически с применением t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как отмечалось ранее, липидные компоненты клеточных мембран являются наиболее уязвимой мишенью для деструктивного действия АФК. Непосредственной мишенью для активных форм кислорода становятся ненасыщенные жирные кислоты, содержание которых в составе липидных фракций достаточно велико. Это и становится основной причиной осуществления процессов перекисного окисления липидов, ведущих к образованию первичных, а затем и вторичных продуктов ПОЛ.

При изучении содержания общих липидов в мембранах эритроцитов больных циррозом печени было выявлено достоверное снижение этого показателя: в 2,2 раза по сравнению с контрольной группой ($4,0 \pm 0,18$ мг/мл – контрольная группа; $1,8 \pm 0,09$ мг/мл – больные циррозом печени).

Поскольку содержание общих липидов взаимосвязано с процессами их перекисного окисления, представляло интерес оценить состояние этих процессов в мембранах эритроцитов при соответствующем заболевании.

При изучении содержания первичных и вторичных (ТБК-активных) продуктов ПОЛ в мембранах эритроцитов практически здоровых людей и больных циррозом печени были получены данные, представленные в табл. 1. Из этих данных видно, что в мембранах эритроцитов больных циррозом печени содержание первичных продуктов ПОЛ было в 5,3 и в 4,4 раза выше по сравнению с контрольной группой (при идентификации продуктов ПОЛ при 232 нм и 273 нм соответственно). Содержание ТБК-активных продуктов также превышало уровень контрольной

группы: в 2,4 раза (идентификация при 535 нм) и в 1,6 раза (идентификация при 560 нм). При данных длинах волн определялись альдегиды и кетоны соответственно.

Наряду с этим представляло интерес изучить активность антиоксидантных ферментов. В табл. 2 представлены данные, полученные при изучении активности каталазы, глутатионредуктазы и супероксиддисмутазы (СОД) в гемолизате эритроцитов практически здоровых людей и больных циррозом печени.

Таблица 1
Содержание первичных и вторичных продуктов ПОЛ в мембранах эритроцитов больных циррозом печени (M ± m)

Обследованные группы	Первичные продукты ПОЛ, ед. опт. пл.		ТБК-активные продукты ПОЛ, ед. опт. пл.	
	232 нм	273 нм	535 нм	560 нм
Контрольная группа	0,315 ± 0,020	0,405 ± 0,03	0,120 ± 0,008	0,098 ± 0,005
Больные циррозом печени	1,674 ± 0,090*	1,770 ± 0,140*	0,290 ± 0,018*	0,154 ± 0,013*

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

Таблица 2
Активность СОД, каталазы и глутатионредуктазы в гемолизате эритроцитов больных циррозом печени (M ± m)

Обследованные группы	Активность СОД, мкмоль·мин. ⁻¹ ·мгНв ⁻¹	Активность каталазы, ммоль·с ⁻¹ ·л ⁻¹	Активность глутатионредуктазы, нмоль·мин. ⁻¹ ·мл ⁻¹
Контрольная группа	13,5 ± 0,5	0,065 ± 0,006	0,580 ± 0,030
Больные циррозом печени	35,8 ± 0,9	0,310 ± 0,026*	0,120 ± 0,010*

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

Как показали результаты исследований, в гемолизате эритроцитов больных циррозом печени достоверно изменяется активность изученных ферментов. Активность СОД в эритроцитах больных была в 2,7 раза выше по сравнению с контрольной группой, активность каталазы превышала уровень контрольной группы в 4,8 раза, тогда как активность глутатионредуктазы снижалась и была в среднем в 4,8 раза ниже уровня активности фермента в контрольной группе. Как известно [4], каталаза и глутатионредуктаза обеспечивают в клетках взаимосвязанные процессы, направленные на разрушение супероксиданиона и пероксида водорода. В связи с этим повышение активности СОД и каталазы в

эритроцитах больных циррозом печени может иметь большое адаптивное значение для эритроцитов в условиях окислительного стресса, связанного с генерированием АФК как радикальной, так и нерадикальной природы.

Снижение активности в эритроцитах больных глутатионредуктазы также представляет большой интерес, поскольку данный фермент играет важную роль в поддержании восстановительного потенциала клеток. Снижение активности глутатионредуктазы в эритроцитах больных циррозом печени может быть обусловлено более высокой «чувствительностью» данного фермента к деструктивному действию активных форм кислорода или вторичных продуктов ПОЛ.

Полученные данные позволяют сделать предположение, что снижение активности глутатионредуктазы в эритроцитах больных циррозом печени компенсируется повышением активности СОД и каталазы. Механизм этого адаптивно-компенсаторного процесса еще предстоит выяснить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В мембранах эритроцитов больных циррозом печени интенсифицируются реакции перекисного окисления липидов, о чем свидетельствует снижение содержания общих липидов и повышение содержания первичных и вторичных продуктов ПОЛ.
2. Показано более выраженное увеличение содержания в мембранах эритроцитов больных первичных продуктов ПОЛ по сравнению со вторичными продуктами.
3. В эритроцитах больных циррозом печени изменяется состояние антиоксидантной системы: снижается активность глутатионредуктазы и возрастает активность каталазы и супероксиддисмутазы.

Список литературы

1. Азизова О. А. Взаимосвязь маркеров окислительного стресса с клиническим течением хронической ишемии мозга / О. А. Азизова // Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2013. – № 9. – С. 21–27.
2. Курашова Н. А. Особенности окислительного стресса при различных патологических состояниях у мужчин репродуктивного возраста / Н. А. Курашова // Бюлл. Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – № 2 (2). – С. 31–35.
3. Луцкий М. А. Формирование окислительного стресса как одного из звеньев сложного патогенеза социально значимых заболеваний нервной системы – инсульта и рассеянного склероза / М. А. Луцкий, А. М. Земсков, М. А. Смелянец и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10. – С. 27–32.
4. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков: окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона / Е. Е. Дубинина, С. В. Гавровская, Е. В. Кузьмич и др. // Биохимия. – 2002. – Т. 67, вып. 3. – С. 413–421.
5. Novgorodtseva T. P. Modifications of the fatty acid composition of the erythrocyte membrane in patients with chronic respiratory diseases / T. P. Novgorodtseva, Y. K. Denisenko, N. N. Zhukova et al. // Lipids Health Dis. – 2013, N 12. – P. 117–121.
6. Елкина Н. М. Липидный состав и перекисидация липидов в эритроцитах при железодефицитной анемии / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 25–29.

7. Елкина Н. М. Процессы пероксидации липидов и генерирования активных форм кислорода в эритроцитах больных кардиомиопатией / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 30–35.
8. Елкина Н. М. Состояние антиоксидантной системы в эритроцитах при отдельных гематологических и сердечно-сосудистых заболеваниях / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1 (67), № 3. – С. 14–20.
9. Drabkin D. A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and haemoglobin in the crystalline / D. Drabkin // Arch. Biochem. – 1959. – V. 21. – P. 224–226.
10. Биохимические методы исследования в клинике / Под. ред. А. А. Покровского. – М.: Медицина, 1969. – С. 28–30.
11. Гаврилов В. Б. Измерение диеновых конъюгатов в плазме крови по УФ-поглощению гептановых и изопропанольных экстрактов / В. Б. Гаврилов, А. Р. Гаврилова, Н. Ф. Хмара // Лаб. дело. – 1988. – № 2. – С. 60–64.
12. Ohkawa H. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yogi // Analit. Biochem. – 1979. – N 2. – P. 351–358.
13. Королюк М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова и др. // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
14. Агабели Р. А. Антиоксиданты и антиоксидантные ферменты / Р. А. Агабели. – Баку, 1989. – 120 с.
15. Доценко О. И. Активность супероксиддисмутазы и каталазы в эритроцитах и некоторых тканях мышей в условиях низкочастотной вибрации / О. И. Доценко, В. А. Доценко, А. М. Мищенко // Физика живого. – 2010. – Т. 18, вып. 1. – С. 107–113.

PROCESSES OF LIPIDS PEROXIDATION AND ACTIVITY OF ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN ERYTHROCYTES OF PATIENTS WITH CIRRHOSIS OF LIVER

Konoshenko S. V., Karakursakova Z. V., Yolkina N. M., Krutikov S. N., Kazakova V. V., Zagnoenko N. E.

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

It is known, that under different diseases the balance in prooxidative and antioxidative processes is destroyed and oxidative stress is realized. The development of oxidative stress is connected with production of oxygen active forms [1, 2]. Today we have much data about that under some diseases erythrocytes are involved in pathological process as demonstrated by biochemical changes occurring in them [3, 4].

In this regard, it is interest to examine the state of processes of lipids peroxidation and antioxidative system in erythrocytes of patients with cirrhosis of liver.

The materials for the study were the erythrocytes of patients with cirrhosis of liver (20 persons, middle age 45,0 years) and healthy subjects (control group). The blood of patients with diseases was taken before treatment for an illness.

The erythrocytes were hemolysed by distilled water. The membranes of erythrocytes were separated from hemolysate by centrifugation. In membranes of erythrocytes the content of total lipids [5] and lipids peroxidation products was determined [6, 7].

The activity of catalase [8], superoxidedismutase (SOD) [9] and glutation-reductase [10] was determined in hemolysates. All indexes were studied by spectrophotometric methods of biochemical analyses.

It has been shown, that in membranes of erythrocytes of patients with disease the level of total lipids is lowed: at 2,2 times as compared with control group; the level of primary and secondary products of lipids peroxidation is rised: at 4,9 and 2,0 times in middle, accordingly.

At the same time, the activity of antioxidative enzymes is changed also. The activity of glutation-reductase was lowed at 4,8 times and the activity of catalase and SOD was rised: at 4,8 and 2,7 times, accordingly, as compared with control group.

The obtained dates evidence about development of oxidative stress under cirrhosis of liver and about mobilization of adaptative reactions in erythrocytes under this pathology.

Keywords: erythrocytes, lipids peroxidation, catalase, superoxidedismutase, glutation-reductase, cirrhosis of liver.

References

1. Azizova O. A., Interaction of markers of oxidative stress with clinical proceed of chronic brain ischemia, *J. Neurology and psychiatry*, **9**, 21 (2013).
2. Kurashova N. A., Peculiarities of oxidative stress under different state of man in reproductive age, *Bull. East-Siberian scientific centre SD RAMN*, **2 (2)**, 31 (2012).
3. Yolkina N. M., Processes of lipids peroxide, methaemoglobin formation and oxygen active forms generation in erythrocytes of patients with erythraemia, *Sc. notes of V. I. Vernadsky Taurida university, Biology and Chemistry*, **26 (65), 4**, 39 (2013).
4. Konoshenko S. V., Yolkina N. M., Peculiarities of proteins oxidative modification in erythrocytes of patients with cardiomyopathies, ischemic heart diseases, erythraemia and aplastic anemia, *Experimental and clinical physiology and biochemistry*, **2**, 40 (2013).
5. Pocrovsky A. A., *Biochemical methods of investigations in clinical practice*, 250 (Mockow, 1969).
6. Gavrilov V. B., Gavrilova A. R., Chmara N. F., The taking of dienoves conjugates in blood plasma by UF-absorption of heptane and isopropanoles ecstractes, *Lab. delo*, **2**, 60 (1988).
7. Ohkawa H., Ohishi N., Yogi K., Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction, *Analit. Biochem*, **2**, 351 (1979).
8. Koroljuk M. A., Ivanova I. G., Tokorev V. E., Method of catalase determination, *Lab. delo*, **1**, 16 (1988).
9. Dotsenko O. I., Dotsenko V. A., Mischenko A. M., Activity SOD and catalase in erythrocytes and some tissues of mouses under low level of vibration, *Physic of living*, **18, 1**, 107 (2010).
10. Agabeli R. A., *Antioxidants and antioxidative enzymes*, 120 (Baku, 1989).

УДК 581.522.4:635.932(477.62)

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПРОГНОЗ УСПЕШНОСТИ ИНТРОДУКЦИИ ВИДОВ ТРАВЯНИСТЫХ МНОГОЛЕТНИКОВ В СТЕПНУЮ ЗОНУ УКРАИНЫ

Крохмаль И. И.

*ГУ «Институт эволюционной экологии НАН Украины», Киев, Украина
E-mail: dies_iraе78@mail.ru*

Определена зависимость успешности интродукции 463 видов травянистых многолетников от экологической амплитуды их толерантности по отношению к термо-, контрасто-, омбро- и криорежимам. Высокой степенью адаптации, вероятно, обладают виды, ареал которых охватывает районы земного шара со средним значением терморежима $46 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, контрасторежима – 142 %, омбросрежима – 533 мм осадков, криорежима – $-8,3^\circ\text{C}$. Выявлено, что успешность интродукции видов увеличивается при возрастании амплитуды климатических факторов. Составлен прогноз успешной интродукции видов травянистых многолетников в степную зону Украины. Определены перспективные регионы, экосистемы которых являются донорами для их интродукции: север Каскадных гор (Вашингтон), некоторые территории района Великих озер (Огайо, Пенсильвания); Карпаты, Среднедунайская и Нижнедунайская низменность, запад Большого Кавказа, Западное Закавказье, Предкавказье, полуостров Корея, север острова Хонсю.

Ключевые слова: амплитуда экологической толерантности, адаптация, регионы – доноры успешно интродуцированных видов растений.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие человека на биосферу с течением времени постепенно возрастает, что ставит под угрозу существование биоразнообразия, в частности самого человека. Степенью защиты биосферы являются ее иерархическая структура, разнообразие живых организмов и способность их к адаптации. В связи с этим сохранение биоразнообразия является одной из важнейших проблем человечества. Конвенция по биоразнообразию, принятая представителями мирового сообщества в 1992 году в Рио-де-Жанейро [1], констатирует «...непроходящую ценность биологического разнообразия, а также экологическое, генетическое, социальное, экономическое, научное, воспитательное, культурное, рекреационное и эстетическое значение биологического разнообразия и его компонентов... а также большое значение биологического разнообразия для эволюции и сохранения поддерживающих жизнь систем биосферы...». В настоящее время известны глобальные тенденции увеличения биоразнообразия от полюсов к экватору и от высокогорий к низкогорьям, связанные с увеличением тепла [2–5]. Изучена зависимость видового богатства высших сосудистых растений от климатических ресурсов их местообитаний на различных уровнях организации растительности.

Альфа-разнообразие прямо пропорционально увеличению теплоресурсов при условии нелимитированного увлажнения. С ограничением увлажнения количество видов уменьшается. Для крупных флористических районов видовое разнообразие увеличивается пропорционально увеличению климатописического разнообразия территории [6]. В Донецком ботаническом саду НАН Украины создана уникальная коллекция видов травянистых многолетников мировой флоры, которая может послужить основой изучения возможности существования их разнообразия в степной зоне. Учитывая проблему глобального изменения климата [7], нахождение количественных связей между биологическим разнообразием и климатическими параметрами имеет значение для возможности прогноза. С одной стороны, глобальные изменения климата в сторону потепления будут способствовать сдвигу оптимума видов растений к экологическим факторам в различных регионах интродукции, что может привести к изменению структуры оптимального коллекционного фонда. С другой стороны, сохранение и воспроизводство большого фенотипического и генетического разнообразия растений в техногенной среде помогает в решении вопросов ее оптимизации для существования человека. В связи с этим определение эколого-биологических предпосылок, составление прогноза успешности интродукции видов травянистых многолетников в степную зону довольно актуально.

Создание и всестороннее изучение коллекций видов мировой флоры в ботанических садах позволит расширить ассортимент декоративных травянистых многолетников для создания ландшафтных объектов разного функционального назначения и повысить интродукционный и природоохранный потенциал региона за счет сохранения в коллекциях раритетных видов как местной флоры, так и флоры различных регионов Земли. Одним из классических методов подбора интродукционного материала является метод климатических аналогов [8].

Определение способности видов растений разных экогрупп по отношению к климатическим факторам к адаптации в различных регионах интродукции с сохранением ритма их роста и развития, биопродуктивности, декоративности, позволяет: 1) установить их оптимумы и лимиты по отношению к важным климатическим факторам; 2) выявить закономерности адаптации видов с разной экологической пластичностью; 3) определить перспективные регионы, экосистемы которых являются донорами интродукционного материала. Изучение адаптационного потенциала травянистых многолетников мировой флоры позволит определить возможность существования в степной зоне видов, находящихся на границах распределения климатических факторов, что может послужить базисом для разработки основ сохранения разнообразия растений. Тем более, что активное становление и ускоренное развитие этой отрасли, постоянное увеличение потребности в новых экзотических растениях обуславливают необходимость более интенсивного расширения и обновления ассортимента [9] и более высокой степени презентации его разнообразия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эколого-биологические особенности и географическое распространение видов приведены согласно литературным источникам [10–21]. Экологическую группу вида по отношению к климатическим факторам определяли в несколько этапов: 1) в компьютерных графических программах наносили ареал вида на физико-географическую карту и карту растительности; 2) совмещали карту ареалов видов с картами распределения значений климатических факторов (термо-, контрасто-, омбро- и криорежимов). Амплитуду толерантности видов по отношению к разным климатическим факторам определяли с использованием фитоиндикационных шкал [22]. Успешность интродукции видов определяли по шкале В. В. Бакановой в течение 10 лет [23]. В степной зоне Украины радиационный баланс – 50–55 ккал*см⁻²*год⁻¹, континентальность климата – 145–155 %, омбродрежим -600 – -400 мм, криорежим – 0–2°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определена успешность интродукции 463 видов травянистых многолетников мировой флоры в зависимости от амплитуды их экологической толерантности по отношению к термо-, контрасто-, омбро- и криорежиму. 115 видов (24,8 %) получили высший балл интродукции (7), 223 вида (48,2 %) – высокий балл (6). 113 видов (24,4 %) оценены 5-ю баллами, 12 видов (2,6 %) – 4-мя баллами.

Терморезим оценивается на основе радиационного баланса – количества тепла, которое на протяжении года приходится на 1 см² поверхности суши. Интродукционный эксперимент продолжался более 40 лет. В этот период были интродуцированы тысячи видов разного эколого-географического происхождения, многие из которых выпали из состава коллекции.

Коллекционный фонд находится в постоянной динамике. В своей работе мы проанализировали именно ядро коллекционного фонда. Поэтому по преобладанию в коллекции видов определенных экогрупп по отношению к климатическим факторам можно судить об успешности интродукции этих видов. По отношению к терморезиму преобладают субмезо- (37,4 %), мезо- (30,2 %) и субмикротермы (21,0 %). Макротермы представлены 7,1 %, микротермы 2,4 %, субмега- и субгекситотермы – менее 2 %. Мезотермы находятся в оптимуме экологического фактора степной зоны Украины, у субмезо- и субмикротермов сдвиг фактора влево от оптимума. На краях распределения группы представлены меньшим количеством видов с низким баллом успешности интродукции (рис. 1). Успешно интродуцированными видами являются те, средние значения терморезима которых в местах их естественного произрастания – 40–60 ккал*см⁻²*год⁻¹. Субмикротермы отличаются высшим баллом успешности интродукции в регионе по сравнению с субмезо- и мезотермами (рис. 2).

Успешность субмикротермов не зависит от их экологической пластичности. Виды этой экогруппы являются высокоадаптированными к условиям региона интродукции. К гемизвритоным субмикротермам с высокой оценкой успешности интродукции относятся виды различных жизненных форм: плотнодерновинные хамефиты-полукустарнички *Eremogone saxatilis* (L.) Ikonn.; корневищные

(*Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Tanacetum vulgare* L.), кистекорневые (*Campanula poscharskyana* Degen) и корневищно-кистекорневые (*Stellaria holostea* L., *Pulmonaria mollissima* A. Kern., *Campanula latifolia* L.) гемикриптофиты; корневищные (*Hemerocallis lilio-asphodelus* L., *H. middendorffii* Trautv. et Mey, *H. minor* Mill.) и луковичные (*Camassia cusickii* S. Watson, *C. quamash* (Pursh) Greene) геофиты, эфемероидные клубнекорневые геофиты (*Corydalis marschalliana* Pers., *C. solida* Sw.).

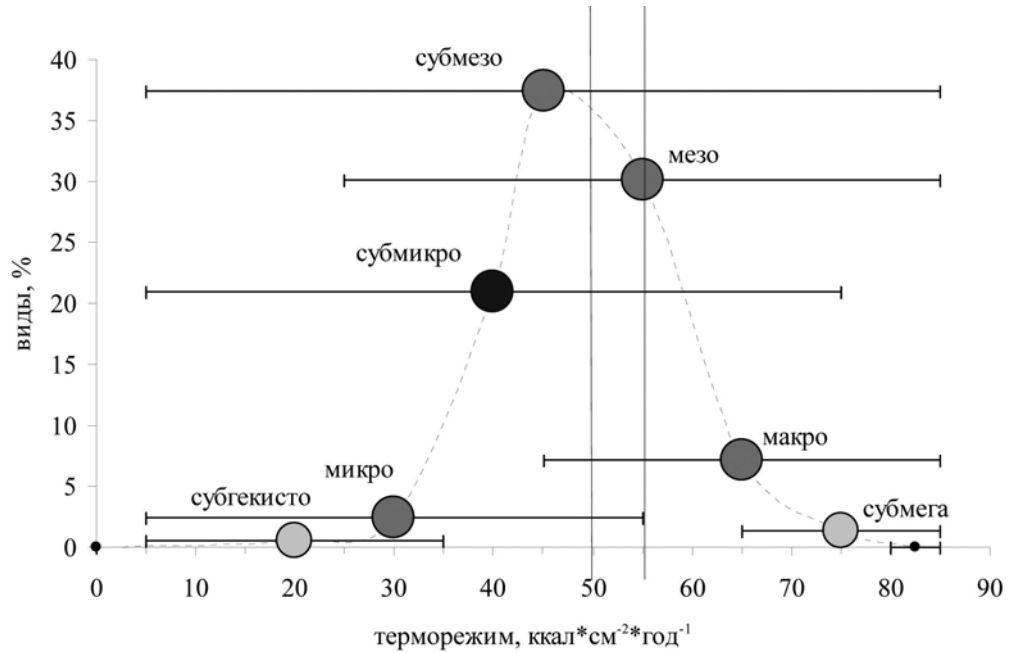


Рис. 1. Распределение экологических групп видов по отношению к терморегиму в коллекции Донецкого ботанического сада НАН Украины. *Примечание* здесь и в рисунках 4, 6, 7. Цвет и размер точки определяет относительную успешность интродукции видов той или иной экогруппы: большой размер и темная окраска свидетельствуют о высокой успешности интродукции. Для средних значений климатического фактора разных экогрупп видов приведена его амплитуда.

К гемистенотопным субмикротермам с высокой успешностью интродукции относятся зимнезеленые хамефиты-полукустарнички (*Herniaria glabra* L., *Sedum acre* L., *S. album* L.); корневищные (*Solidago bicolor* L.), кистекорневые (*Leucanthemum vulgare* Lam., *Lychnis chalconica* L.), корневищно-кистекорневые (*Asarum europaeum* L.), стержнекорневые (*Echinops sphaerocephalus* L., *Campanula glomerata* L.) и стержнекорневищные (*Campanula rapunculoides* L.)

гемикриптофиты; корневищные (*Campanula persicifolia* L.) и корневищно-кистекорневые (*Pulmonaria officinalis* Ced.) геофиты.

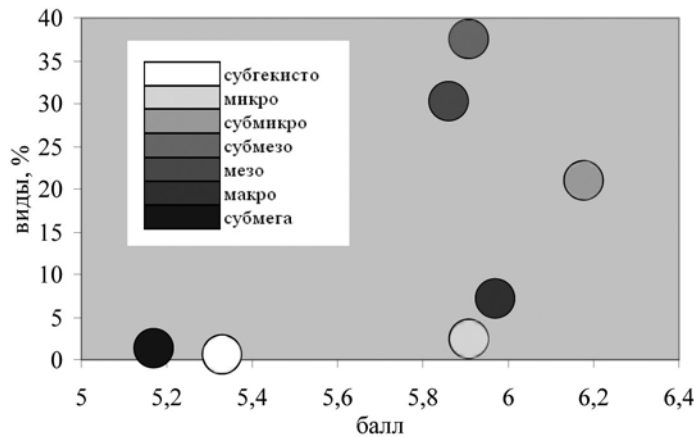


Рис. 2. Успешность интродукции видов в условиях степной зоны Украины в зависимости от отношения их к терморегиму. *Примечание здесь и в рисунках 5, 7, 10.* Цвет точки отображает градиент климатического фактора.

Успешность интродукции субмезо- и мезотермов достоверно не отличается. Внутри этих групп степень адаптации видов с разной экологической пластичностью имеет достоверные отличия. Успешность интродукции гемиевритопных субмезотермов выше гемистенотопных, эвритопных – стено- и гемиевритопных. Высокую оценку успешности интродукции получили эвритопные и гемиевритопные субмезотермы разного географического происхождения (районы земного шара с радиационным балансом 5–85 и 20–75 ккал*см⁻²*год⁻¹ соответственно). Это североамериканские корневищные (*Dendranthema arcticum* (L.) Tzvelev., *Eriophyllum lanatum* (Pursh) J. Forbes, *Helenium autumnale* L., *Solidago sempervirens* L., *S. squarrosa* Nutt., *S. canadensis* L.) и кистекорневые (*Coreopsis grandiflora* Nutt. ex Chapm., *C. lanceolata* L.) гемикриптофиты; корневищные (*Heliopsis scabra* Dunal, *Carex grayi* Carey), стержне-корневищные (*Ratibida pinnata* Barnh.) и кистекорневые (*Gaillardia hybrida* hort.) геофиты; средиземноморско-европейские корневищные (*Inula ensifolia* L.) и кистекорневые (*Anthemis tinctoria* L.) гемикриптофиты, корневищно-кистекорневые геофиты (*Pulmonaria obscura* Rehman); малоазиатско-западно-средиземноморско-европейские луковичные (*Ornithogalum flavescens* Lam., *O. kochii* Parl.) и кистекорневые (*Erigeron uniflorus* Sm.) геофиты; европейско-малоазиатские зимнезеленые стержнекорневые хамефиты-полукустарнички (*Alyssum murale* M. Bieb.) и корневищные геофиты (*Carex pendula* Geners., *Polygonatum latifolium* Desf.); западно-азиатские стержнекорневые хамефиты-полукустарнички (*Aethionema grandiflorum* Boiss. et Hohen.); евразийские корневищные гемикриптофиты (*Dendranthema zawadskii* (Herbich) Tzvelev) и геофиты

(*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce); северо-африканско-европейские кистекорневые гемикриптофиты (*Aster linoisyris* Bernh.) и луковичные геофиты (*Ornithogalum umbellatum* L.).

Гемистенотопные мезотермы достоверно более адаптированные к условиям региона интродукции в сравнении со стеноотопными. Это следующие виды: *Centaurea triumfettii* All., *Asclepias purpurascens* Georgy, *A. syriaca* Blanco, *Aster alpinus* L., *Doronicum caucasicum* M. Bieb., *D. macrophyllum* Fisch., *D. plantagineum* C.A. Mey., *Ligularia dentata* (A. Gray) Hara, *Pyrethrum clusii* Tausch, *Santolina chamaecyparissus* L., *S. virens* Mill., *Dianthus seguieri* Vill., *Eremogone kingii* (S. Watson) Ikonn., *Saponaria ocymoides* L., *Hosta plantaginea* Asch., *Amsonia tabernaemontana* Walter, *Asarum canadense* L., *Arenaria grandiflora* L., *Solidago caesia* L., *Leucanthemum maximum* DC., *Eupatorium maculatum* L., *Centaurea montana* L., *Catananche caerulea* L., *Anthericum liliago* L., *Podophyllum peltatum* L., *Silene asterias* Griseb., *S. saxifraga* L., *Helianthemum apenninum* Boiss., *H. canum* (L.) Grosser, *H. nummularium* Mill., *Hylotelephium spectabile* (Boreau) H. Ohba.

Макротермы характеризуется высокой степенью адаптации к условиям региона интродукции, однако из-за небольшого количества средняя оценка успешности их адаптации достоверно не отличается от других групп. Высокая адаптация характерна для гемистенотопных макротермов (районы земного шара с радиационным балансом 45–85 ккал*см²*год⁻¹). Это североамериканские кистекорневые гемикриптофиты (*Rudbeckia fulgida* Aiton), средиземноморские (*Asphodeline liburnica* Rchb.), кавказско-балканско-малоазиатские (*Asphodeline taurica* Kunth) корневищные геофиты, азиатские корневищные хамефиты-полукустарнички (*Sedum sediforme* Raym.-Hamet).

Успешность интродукции видов увеличивается при возрастании амплитуды экологического фактора терморегима (рис. 3).

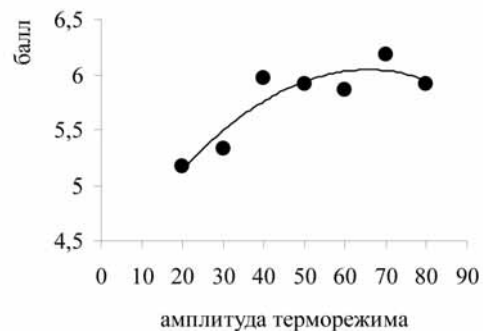


Рис. 3. Зависимость успешности интродукции видов в зависимости от амплитуды терморегима, °C.

На ареал видов растений влияет не только зональность, но и океаничность. Влажность воздуха в океанических районах выше, чем в континентальных. В

океанических районах больше пасмурных дней, туманов, низкие суточные и годовые амплитуды температуры воздуха.

В коллекции травянистых многолетников сада преобладают суб- (33,5 %), геми- (26,8 %) и континенталы (18,6 %) (рис. 4). Они характеризуются сдвигом среднего значения фактора влево от оптимума. Среди этих трех групп достоверных отличий по успешности интродукции не наблюдается. Субконтиненталы оценены достоверно высшим средним баллом успешности интродукции в сравнении с гемиокеанистами и эукоонтиненталами (рис. 5).

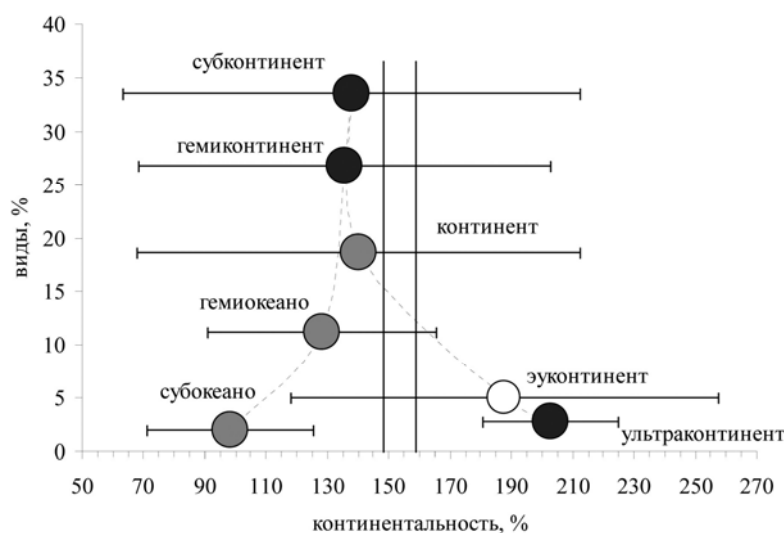


Рис. 4. Распределение экологических групп видов по отношению к контрастурежиму в коллекции Донецкого ботанического сада НАН Украины.

Среди субконтиненталов достоверно высшей успешностью интродукции отличаются гемиэвритопные виды в сравнении со стенотопными. Гемиэвритопные и эвритопные субконтиненталы представлены видами разного географического распространения: 1) североамериканско-евразийскими корневищными геофитами (*Convallaria majalis* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All.) и вечнозелеными хамефитами-полукустарничками (*Cerastium arvense* L.); 2) евразийскими корневищными геофитами (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce); 3) североамериканскими хамефитами-полукустарничками (*Opuntia humifusa* Raf.), кистекорневыми (*Coreopsis grandiflora*, *Coreopsis lanceolata*) и корневищными (*Solidago canadensis*, *Dendranthema arcticum*, *Eriophyllum lanatum*) гемикриптофитами, кисте-корневищными (*Asclepias purpurascens*), кистекорневыми (*Gaillardia aristata*) и луковичными геофитами (*Camassia cusickii*, *C. quamash*); 4) европейскими гемикриптофитами (*Dianthus fischeri* Spreng., *Asarum europaeum*, *Campanula persicifolia*); 5) азиатскими зимнезелеными корневищными геофитами (*Sedum sediforme*, *S. kamtschaticum* Fisch. & C.A. Mey);

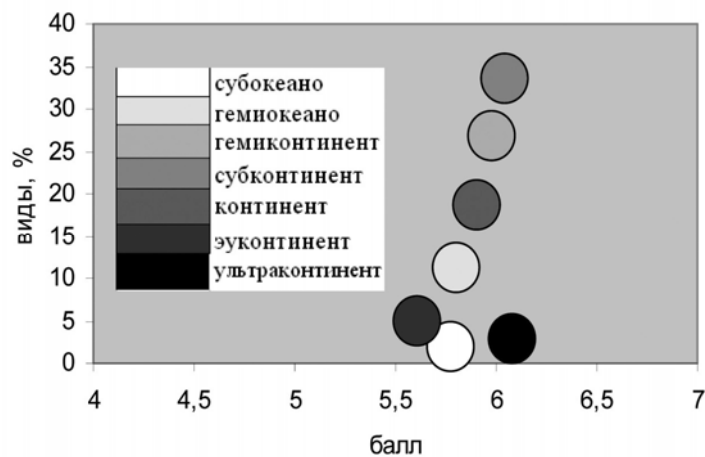


Рис. 5. Успешность интродукции видов в условиях степной зоны Украины в зависимости от отношения их к контрасторежиму.

б) малоазиатско-европейскими зимнезелеными стержнекорневыми хамефитами (*Alyssum murale*, *Helianthemum canum*), стержнекорневыми (*Campanula latifolia*), корневищными (*Centaurea montana*) и кисте-корневищными (*Anthericum liliago*) гемикриптофитами, корневищными (*Poligonatum latifolium*) и луковичными (*Ornithogalum kochii*, *O. flavescens*) геофитами; 7) малоазиатско-балканско-европейскими стержнекорневыми хамефитами-полукустарничками (*Alyssum saxatile*), корневищными гемикриптофитами (*Aster alpinus*) и луковичными геофитами (*Ornithogalum boucheanum* Asch.); 8) балканско-европейскими кисте-корневищными гемикриптофитами (*Pulmonaria dacica* Porcius); 9) балканско-средиземноморскими стержнекорневыми хамефитами-полукустарничками (*Euphorbia cyparissias* L.); 10) кавказско-малоазиатско-балканско-среднеевропейскими корневищно-кисте-корневыми гемикриптофитами (*Doronicum caucasicum*) и корневищными геофитами (*Telekia speciosa* Baumg.); 11) европейско-среднеазиатско-западносибирскими стержнекорневыми гемикриптофитами (*Echinops sphaerocephalus* L., *E. ruthenicus* M. Bieb.); 12) дальневосточно-среднеазиатско-европейскими корневищными геофитами (*Achillea millefolium* L.) и гемикриптофитами (*Antennaria dioica*).

Гемистенотопные субконтиненталы, отличающиеся высокой успешностью интродукции, представлены: 1) североамериканскими корневищными (*Solidago squarrosa* Nutt.) и кисте-корневыми (*Rudbeckia hybrida* hort.) гемикриптофитами, стержнекорневищными (*Ratibida pinnata*) и корневищными (*Heliopsis scabra*) геофитами; 2) европейскими гемикриптофитами (*Dianthus carthusianorum* Sm.) и геофитами (*Carex paniculata* Kunth); 3) балканско-восточноевропейскими корневищными хамефитами-полукустарничками (*Sedum album*); 4) средиземноморскими кисте-корневыми гемикриптофитами (*Asphodelone liburnica*).

и луковичными геофитами (*Hyacinthella azurea* (Fenzl) Chouard); 5) кавказскими весенне-зимнезелеными луковичными геофитами (*Muscari armeniacum* Baker).

Среди континенталов достоверно высшей успешностью интродукции отличаются гемистенотопные и гемизвритопные виды в сравнении со стенофитными: *Inula helenium* L., *Campanula alliariifolia* Willd., *C. rapunculoides*, *Muscari leucostomum* G. Woronov, *M. szovitsianum* Baker. В группе гемиконтиненталов успешность интродукции видов не зависит от их экологической пластичности. Успешно адаптированные гемиконтиненталы с широкой экологической пластичностью представлены: 1) североамериканскими стержнекорневищными гемикриптофитами (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) и кисте-корневищными геофитами (*Erigeron speciosus* DC.); 2) кавказско-восточноевропейскими зимнезелеными хамефитами-полукустарничками (*Sedum acre*); 3) северо-африканско-европейскими кисте-корневыми гемикриптофитами (*Aster linosyris* Bernh., *Campanula trachelium* L.); 4) евразийскими корневищно-кисте-корневыми геофитами (*Pulmonaria obscura*); 5) малоазиатско-западносибирско-европейскими клубнекорневыми геофитами (*Corydalis marschalliana* Pers., *C. solida*), 6) малоазиатско-южно-европейскими (*Ornithogalum refractum* Moris) и 7) балканско-малоазиатско-европейскими луковичными геофитами (*Ornithogalum fimbriatum* Willd.). Гемистенотопные гемиконтиненталы, отличающиеся высокой степенью адаптации, представлены: 1) средиземноморскими (*Santolina chamaecyparissus*, *Alyssum spinosum* L.), крымско-кавказско-средиземноморскими (*Santolina virens*, *Vinca major* L.), кавказско-средиземноморскими (*Vinca herbacea* Waldst. & Kit.), средиземноморско-среднеевропейскими (*Helianthemum nummularium*) хамефитами-полукустарничками; средиземноморскими (*Ornithogalum platyphyllum* Boiss.) и монтанными южно-среднеевропейскими (*Muscari botryoides* (L.) Mill.) луковичными геофитами; средиземноморскими гемикриптофитами (*Catananche caerulea*); 2) восточноевропейскими гемикриптофитами (*Gypsophila glomerata* Pall. ex Adams) и западноевропейскими геофитами (*Paradisea liliastrum* (L.) Bertol.), центрально-европейскими монтанными (*Saponaria ocymoides* L.) хамефитами-полукустарничками; 3) североамериканскими геофитами (*Carex grayi*, *Coreopsis verticillata* Lam., *Eupatorium maculatum* L., *Asclepias syriaca*, *Podophyllum peltatum*) и гемикриптофитами (*Asarum canadense*, *Solidago sempervirens*, *S. caesia* L., *S. buckleyi* Torr. & A. Gray, *Liatris spicata* (L.) Willd., *Rudbeckia fulgida*). Среди гемистенотопных гемиконтиненталов с высокой успешностью интродукции отмечены также: 1) крымско-балканско-западноевропейские хамефиты-полукустарнички (*Euphorbia myrsinites*); 2) крымско-балканские клубнелуковичные (*Colchicum ancycense* V. L. Burt.), крымско-кавказско-балканско-средиземноморско-среднеевропейские клубнекорневые (*Arum maculatum* L.), кавказско-европейские луковичные геофиты (*Muscari racemosum* (L.) Lam. & DC.); 3) монтанные карпатско-балканские (*Pyrethrum clusii* Fisch. ex Rchb.) и крымско-кавказско-восточноевропейские гемикриптофиты (*Dianthus capitatus* Balbis ex DC.).

Среди гемеокеанистов более приспособленными к новым условиям являются виды с гемизвритопной экологической амплитудой (*Achillea ptarmica* L., *Anthemis*

tinctoria, *Leucanthemum maximum*, *Campanula poscharskyana*, *Arenaria grandiflora* L., *Sedum dasyphyllum* L.). Стенотопные ультраконтиненталы представлены небольшим количеством видов, которые характеризуются высокой степенью адаптации к условиям региона интродукции: *Dianthus tianschanicus* Schischk., *Rhodiola kirilowii* Regel ex Maxim., *Sedum middendorffianum* Maxim., *Hemerocallis citrina* Baroni, *Scilla tubergeniana* Hoog.

Следовательно, высокой степенью адаптации к условиям степной зоны Украины обладают виды, среднее значение контрасторежима которых в местах их естественного произрастания составляет 142 %.

Омброрежим является одним из важнейших экологических факторов, который отображает аридность – гумидность климата. Этот фактор характеризует влажность воздуха и связан с количеством осадков, стоком, испарением и транспирацией, влажностью грунта, уровнем грунтовых вод.

В коллекции преобладают субаридо-, субомбро-, мезоаридофиты. На втором месте по количеству видов – семиаридо- и мезоомброфиты (рис. 6). Мезоаридофиты находятся в оптимуме экологического фактора, успешно адаптированные виды семиаридофиты и субаридофиты – сдвиг от оптимума влево и вправо соответственно. Мезоаридофиты отличаются достоверно высшим средним баллом успешности интродукции в сравнении с субомброфитами (рис. 7). Успешность интродукции субаридо, субомбро-, мезоомброфитов не зависит от амплитуды их экологической толерантности.

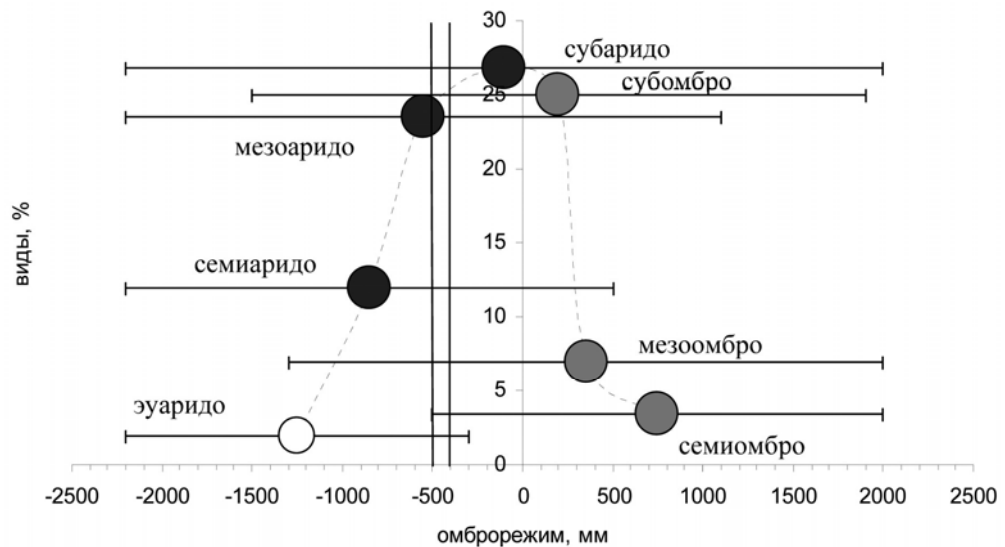


Рис. 6. Распределение экологических групп видов по отношению к омброрежиму в коллекции Донецкого ботанического сада НАН Украины.

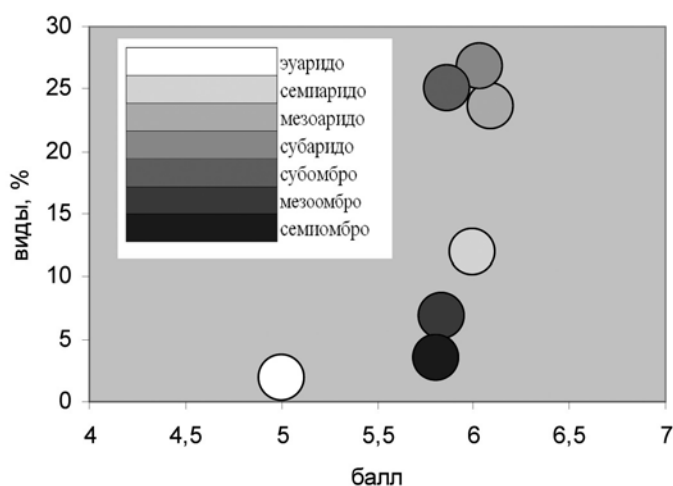


Рис. 7. Успешность интродукции видов в условиях степной зоны Украины в зависимости от отношения их к омброрезиму.

Среди мезоаридофитов гемистенотопные виды (омброрезим (-2000 – -1800) – (400–600) мм) отличаются достоверно большей успешностью интродукции в сравнении с гемизвритопными. Возможно, данный факт обусловлен некоторыми эколого-биологическими особенностями этих видов: жизненной формой (суккуленты; весеннезеленые луковичные геофиты), феноритмотипом (клубнелуковичные эфемероидные растения) и ценотипом (петрофанты). Среди гемистенотопных мезоаридофитов адаптированными видами явились 1) юго-восточно-азиатские (*Aster farreri* W.W. Sm. & Jeffrey), малоазиатско-кавказские (*Scabiosa caucasica* M. Bieb., *Muscari szovitsianum* Rupr. ex Boiss.) и малоазиатско-средиземноморские (*Chionodoxa lucilia*) альпмонтанты; 2) балканские (*Dianthus pinifolius* Sm.), малоазиатско-балканские (*Sedum pallidum* M. Bieb.), крымско-малоазиатско-западноевропейские (*Helianthemum canum*), среднеазиатско-крымско-кавказские (*Muscari leucostomum*), дальневосточные (*Sedum kamtschaticum*) петрофанты; 3) средиземноморско-малоазиатские (*Vinca minor*), кавказско-малоазиатские (*Epimedium colchicum* hort. ex Grossh. & Schischkin), кавказские (*Hylotelephium spectabile*), кавказско-среднеевропейские (*Campanula rapunculoides*), малоазиатско-западносибирско-европейские (*Corydalis marschalliana*, *C. solida*), евразийские (*Inula helenium*) силванты; 4) среднеазиатско-сибирско-восточноевропейские (*Eremogone saxatilis*), малоазиатско-западноевропейско-европейские (*Ornithogalum flavescens*), центральноазиатско-западноевропейско-кавказские (*Leucanthemum vulgare*), кавказские (*Muscari armeniacum*), дальневосточно-центральноазиатско-западносибирские (*Heimerocallis minor*), евразийские пратанты. Среди успешно интродуцированных гемистенотопных мезоаридофитов встречаются крымско-балканские (*Colchicum ancyrense* B.L. Burt), малоазиатско-южноевропейские

(*Ornithogalum refractum*), восточно-средиземноморские степанты (*Hyacinthella azurea* (Fenzl) Chouard); европейско-малоазиатско-западноевропейские (*Ornithogalum kochii*) пратопетростепанты; восточноевропейские (*Ornithogalum platyphyllum*) петростепанты; малоазиатско-крымско-кавказские опушечно-кустарниково-степные виды (*Achillea filipendulina* Lam.); малоазиатско-балканско-европейские (*Ornithogalum boucheanum*) и среднеазиатско-сибирско-европейские (*Campanula glomerata*) опушечно-кустарниковые виды.

Субаридо- и семиаридофиты отличаются также высокой успешностью интродукции. Субаридофиты – это эвритопные (*Poligonatum odoratum*, *Hemerocallis fulva* L.) и гемистенотопные виды. Среди последних южно-западноевропейские виды разной ценотической приуроченности: сальванты (*Doronicum plantagineum*, *Leucanthemum maximum*), петрофанты (*Sedum dazyphyllum*), альпмонтанты (*Paradisea liliastrum* Bertol.) и степанты (*Catananche caerulea*); средиземноморско-малоазиатско-южно-западноевропейские (*Helianthemum apenninum*), средиземноморско-малоазиатско-кавказские (*Arabis caucasica* Willd.) и балканско-южноевропейские (*Campanula poscharskyana*) петрофанты. Среди семиаридофитов достоверно наиболее адаптированы виды с широкой экологической амплитудой: северо-африканско-европейские сальванты (*Campanula trachelium*) и степопратанты (*Ornithogalum umbellatum*); северо-африканско-западноазиатские псаммопетрофанты (*Sedum sediforme*); малоазиатско-балканско-западноевропейско-среднеевропейские (*Erigeron uniflorus*), малоазиатско-балканско-кавказско-западноазиатские (*Asphodeline taurica* (Pall.) Endl.), южно-кавказско-западноазиатские (*Aethionema grandiflorum*) и кавказские (*Doronicum macrophyllum*) альпмонтанты.

Успешность интродукции видов возрастает при увеличении амплитуды омброрежима (рис. 8). Наибольшей степенью адаптации к условиям степной зоны Украины обладают виды, среднее значение омброрежима которых в их ареале составляет - 533 мм.

Высокой степенью адаптации к условиям степной зоны Украины обладают гемистенотопные мезоаридофиты и субаридофиты. Среди первых альпмонтанты Юго-Восточной Азии, Малой Азии, Средиземноморья, Кавказа; опушечно-кустарниковые виды и сальво-альпмонтанты сибирско-европейского происхождения; петрофанты Балкан, Малой Азии, Крыма; сальванты Малой Азии, Средиземноморья, Кавказа; пратанты с обширным ареалом. Среди вторых западноевропейские виды разной ценотической приуроченности, петрофанты Балкан, Средиземноморья, Малой Азии; сальванты с обширным ареалом.

Определена пластичность видов по отношению к величине и положению на градиенте криорежима (Сг). Криорежим отображает морозность климата. В ходе эволюции у растений холодных климатических поясов развилась морозостойкость, которая дает им возможность выдерживать холодный период года. Морозостойкость растений – результат продолжительного исторического развития в определенных физико-географических условиях [22].

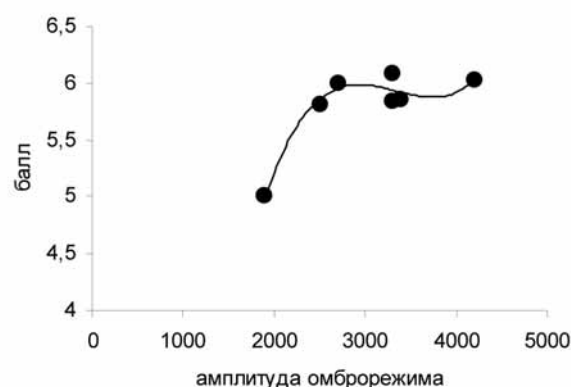


Рис. 8. Зависимость успешности интродукции видов в зависимости от амплитуды омброрежима, мм.

Основными метеорологическими элементами, которые влияют на перезимовку растений, являются температура воздуха и снежный покров (в определенных соотношениях этих элементов). В коллекции преобладают гемикрио- (36,5 %), акрио- (30,7 %) и субкриофиты (20,3 %) (рис. 9). На втором месте по численности находятся криофиты (8,2 %). Небольшим количеством представлены субтермо- (2,2 %), перкрио- (0,9 %), гиперкрио- (0,9 %) и термофиты (0,4 %).

Среднее значение криорежима акриофитов находится в оптимуме экологического фактора региона интродукции. Гемикрио- и субкриофиты смещены влево от оптимального значения. Криофиты оценены достоверно высшей успешностью интродукции в сравнении с гемикриофитами и акриофитами (рис. 10).

Среди криофитов наиболее устойчивы гемистенотопные и гемизвритопные гемикриптофиты (*Dianthus fischeri* Spreng., *Campanula glomerata* L., *C. latifolia*, *C. rapunculoides*, *Antennaria dioica*, *Pulmonaria mollissima*), геофиты (*Hemerocallis middendorfii*, *H. lilio-asphodelus*, *H. minor*, *Achillea nobilis*, *Convallaria majalis*), хамефиты-полукустарнички (*Vinca pubescens* d'Urv., *Eremogone saxatilis*) разного географического происхождения.

Субкриофиты достоверно более адаптированы к условиям степной зоны Украины в сравнении с акриофитами. Гемизвритопные и эвритопные субкриофиты отличаются высшей успешностью интродукции в сравнении со стенофитными. Это 1) европейские корневищные геофиты и гемикриптофиты (*Achillea ptarmica*, *Campanula persicifolia*); 2) малоазиатско-западносибирско-европейские эфемероиды (*Corydalis marschalliana*, *C. solida*), стержнекорневые (*Echinops ruthenicus*) и кисте-корневищные (*Stellaria holostea*) гемикриптофиты; 3) сибирско-европейские кисте-корневищные гемикриптофиты (*Campanula rotundifolia* L.); 4) среднеазиатско-западносибирско-европейские хамефиты-полукустарнички (*Herniaria glabra* L.); 5) евразийские корневищные гемикриптофиты (*Inula helenium*) и геофиты (*Poligonatum odoratum*); 6) западноазиатские стержнекорневые хамефиты-полукустарнички (*Aethionema grandiflorum*); 7) дальневосточно-

североамериканские гемикриптофиты (*Dendranthema arcticum*); 8) североамериканские геофиты (*Gaillardia aristata*); 9) североамериканско-евразийские хамефиты-полукустарнички (*Cerastium arvense* L.) и геофиты (*Polygonatum multiflorum*).

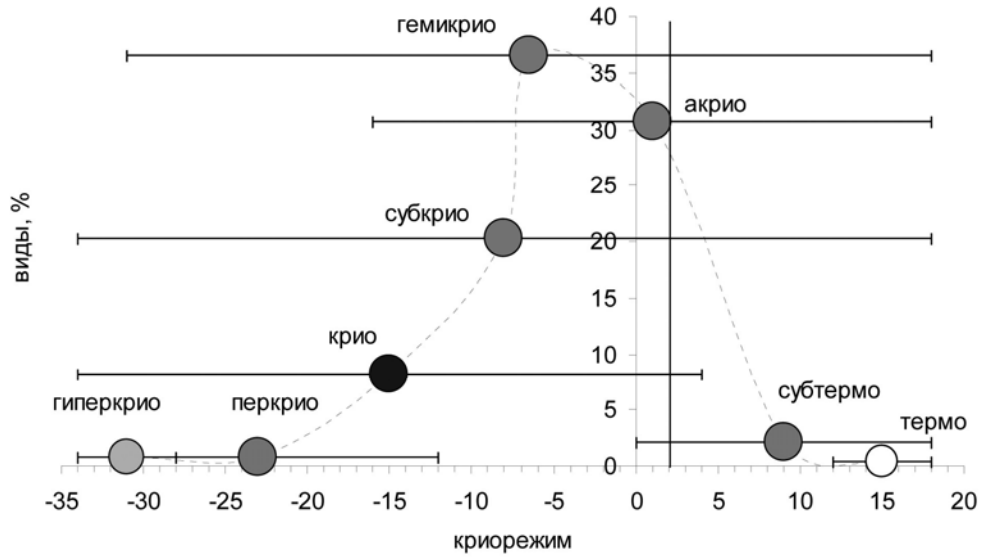


Рис. 9. Распределение экологических групп видов по отношению к криорежиму в коллекции Донецкого ботанического сада НАН Украины.

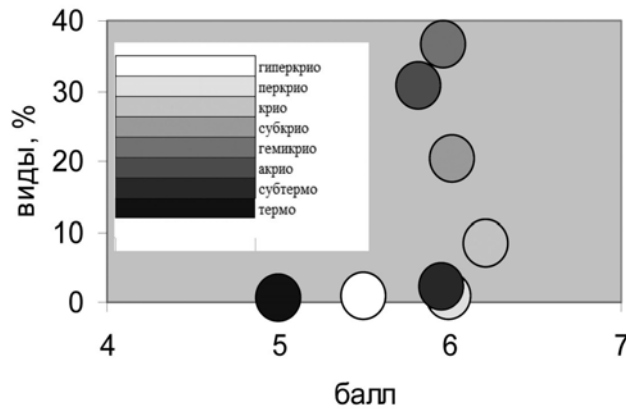


Рис. 10. Успешность интродукции видов в условиях степной зоны Украины в зависимости от отношения их к криорежиму.

Успешность интродукции акриофитов не зависит от амплитуды их экологической толерантности. Успешно интродуцированы стенотопные, гемистенотопные и гемиэвритопные.

Среди гемикриофитов более адаптированы в новых условиях произрастания гемистенотопные: 1) летне-зимнезеленые (*Alyssum montanum* L., *A. murale* M. Bieb., *Euphorbia myrsinites*) хамефиты-полукустарнички; 2) весенне-зимнезеленые (*Muscari botryoides*) и весенне-осенне-зимнезеленые (*Ornithogalum umbellatum*) луковичные геофиты. Также гемиэвритопные и эвритопные североамериканские виды (*Rudbeckia hybrida*, *Coreopsis grandiflora*, *C. lanceolata*, *Solidago canadensis*, *S. sempervirens*, *S. squarrosa*, *Eriophyllum lanatum*, *Liatris spicata*). Среди гемикриофитов некоторые стенотопные виды оценены высшим баллом успешности интродукции: 1) весенне-зимнезеленые (*Muscari armeniacum*, *M. leucostomum*, *M. racemosum*) и весенне-зеленые (*Hyacinthella pallasiana* (Steven) Losinsk., *Muscari szovitsianum* Baker, *Scilla tubergeniana*) луковичные геофиты; 3) летне-зимнезеленые (*Alyssum saxatile*, *Dianthus hypanicus* Andr.) и зимнезеленые (*Sedum spurium* M. Bieb.) хамефиты-полукустарнички.

Следовательно, высокой степенью адаптации среди гемистенотопных и стенотопных гемикриофитов и акриофитов отличаются летне-зимнезеленые и зимнезеленые хамефиты-полукустарнички; весенне-зимнезеленые, весенне-осенне-зимнезеленые и весеннезеленые луковичные геофиты.

Успешность интродукции видов повышается при возрастании амплитуды криорежима (рис. 11).

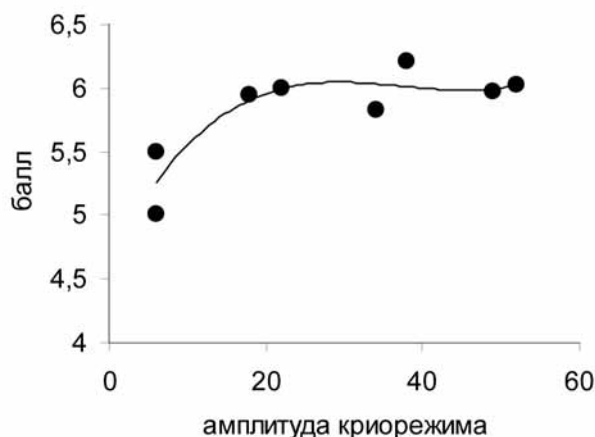


Рис. 11. Зависимость успешности интродукции видов в зависимости от амплитуды криорежима, °С.

Определены перспективные регионы, экосистемы которых являются донорами травянистых многолетников для успешной интродукции их в степную зону Украины. В сочетании двух экологических факторов – термо- и омборежима –

такими регионами являются Каскадные горы в Северной Америке (север Калифорнии, Вашингтон, Орегон), район Великих озер (Индиана, Пенсильвания, Нью-Йорк, Иллинойс, Айова, Северная Дакота, Южная Дакота, Огайо); юг Франции, северная и центральная часть Апеннинского полуострова, север Балканского полуострова, южные и восточные Карпаты, Среднедунайская низменность, Нижнедунайская низменность, юг Среднерусской возвышенности, Средиземноморское побережье Турции, Предкавказье, Западное Закавказье, Большой Кавказ, северо-восточный Китай, север острова Хонсю, север полуострова Корея, Шаньдунский полуостров, юг Сихотэ-Алиня.

С учетом термо-, омбро- и криорежимов перспективными регионами являются север Каскадных гор (Вашингтон), некоторые территории района Великих озер (Огайо, Пенсильвания); Карпаты, Среднедунайская и Нижнедунайская низменность, Среднерусская возвышенность, запад Большого Кавказа, Западное Закавказье, Предкавказье, полуостров Корея, север острова Хонсю. С учетом четырех экологических факторов перспективными географическими регионами являются все перечисленные выше, кроме Среднерусской возвышенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, определена зависимость успешности интродукции 463 видов травянистых многолетников от экологической амплитуды их толерантности по отношению к термо-, контрасто-, омбро- и криорежимам. Выявлено, что высокой степенью адаптации обладают по отношению: 1) к терморегиму – субмезо-, мезо- и субмикротермы; 2) контрасторежиму – суб-, геми- и континенталы; 3) омброрежиму – субаридо-, субомбро-, мезоаридофиты и 4) криорежиму – гемикрио-, акрио- и субкриофиты.

Выявлено, что успешность интродукции видов увеличивается при возрастании амплитуды климатических факторов.

Составлен прогноз успешности интродукции видов травянистых многолетников в степную зону Украины. Высокой степенью адаптации, вероятно, обладают виды, ареал которых охватывает районы земного шара со средним значением терморегима $46 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, контрасторежимом – 142 %, омброрежимом – -533 мм осадков, криорежимом – $-8,3^\circ\text{C}$.

С учетом четырех климатических факторов перспективными регионами для успешной интродукции травянистых многолетников в степную зону Украины являются север Каскадных гор (Вашингтон), некоторые территории района Великих озер (Огайо, Пенсильвания); Карпаты, Среднедунайская и Нижнедунайская низменность, запад Большого Кавказа, Западное Закавказье, Предкавказье, полуостров Корея, север острова Хонсю.

Список литературы

1. Конвенция по Биоразнообразию, (Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 года) – 32 с.
2. Малышев Л. И. Зависимость флористического богатства от внешних условий и исторических факторов / Л. И. Малышев // Ботан. журн. – 1969. – Т. 54. – № 8. – С. 1137–1146.

3. Малышев Л. И. Прогноз пространственного разнообразия и изученность флоры Сибири / Л. И. Малышев // Биоразнообразие: Степень таксономической изученности: докл. всесоюз. совещ. – М.: Наука, 1994. – С. 42–52.
4. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Логос, 2001. – 327 с.
5. Миркин Б. М. Толковый словарь современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг – М., 1983. – 134 с.
6. Чернов Ю. И. Биологическое разнообразие: сущность и проблемы / Ю. И. Чернов // Успехи совр. биол. – 1991. – Т. 111. – Вып. 4. – С. 499–507.
7. Chapin III F. S. Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century / III F. S. Chapin, O. E. Sala, E. Huber-sannwald. – Springer-Verlag, New York, 2001. – P. 351–367.
8. Mayer H. Walbau auf naturgeschichtlicher Grundlage / H. Mayer. – Berlin: Pareyd, 1909. – 568 p.
9. Музичук Г. М. Нові підходи до розробки програм інтродукції та організації впровадження декоративних рослин у садівництво України / Г. М. Музичук // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. “Досягнення та проблеми інтродукції рослин в степовій зоні України” (Нова Каховка, 18-20 жовтня 2007 р.). – Херсон: Айлант, 2007. – С. 89–91.
10. Флора СССР: В 30 – ти т. – М.; Л.: Наука, 1935. – Т. 4. – 760 с.; М.; Л.: Наука, 1936. – Т. 6. – 956 с.; М.; Л.: Наука, 1937. – Т. 7. – 792 с.; М.; Л.: Наука, 1939. – Т. 8. – 696 с.; М.; Л.: Наука, 1939. – Т. 9. – 542 с.; М.; Л.: Наука, 1941. – Т. 10. – 675 с.; М.; Л.: Наука, 1949. – Т. 14. – 790 с.; М.; Л.: Наука, 1949. – Т.15. – 742 с.; М.; Л.: Наука, 1950. – Т. 16. – 648 с.; М.; Л.: Наука, 1952. – Т. 18. – 802 с.; М.; Л.: Наука, 1954. – Т. 20. – 556 с.; М.; Л.: Наука, 1954. – Т. 21. – 704 с.; М.; Л.: Наука, 1955. – Т. 22. – 861 с.; М.; Л.: Наука, 1957. – Т. 24. – 502 с.; М.; Л.: Наука, 1959. – Т. 25. – 630 с.; М.; Л.: Наука, 1961. – Т. 26. – 940 с.; М.; Л.: Наука, 1963. – Т. 28. – 657 с.
11. Flora Europaea – Volume 1. Lycopodiaceae to platanaceae. – Cambridge at the University press, 1964.
12. Flora Europaea – Volume 4. Plantaginaceae to compositae (and) Rubiaceae. – Cambridge London New York Melbourne, 1976.
13. Flora Europaea Volume 3. Diapensiaceae to Myoporaceae. – Cambridge at the University Press, 1972.
14. Полетико О. М. Декоративные травянистые растения открытого грунта. Справочник по номенклатуре родов и видов / О. М. Полетико, А. П. Мишенкова. – Л.: Наука, 1967. – 208 с.
15. Декоративные травянистые растения для открытого грунта: в 2-х т. – Т. 2. – Л.: Наука, 1977. – 458 с.
16. Интродукция растений природной флоры СССР. Справочник. – М.: Наука, 1979. – 431 с.
17. Декоративные растения СССР. – М.: Мысль, 1986. – 320 с.
18. Лесные травянистые растения. Биология и охрана: справочник. – М.: Агропромиздат, 1988. – 223 с.
19. Луговые травянистые растения. Биология и охрана: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 183 с.
20. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 126 с.
21. Flora of North America. (www.efloras.org/flora).
22. Екофлора України. – Т. 1. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. – 284 с.
23. Баканова В. В. Цветочно-декоративные многолетники открытого грунта / В. В. Баканова. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 56–57.

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL PREREQUISITES AND FORECAST OF INTRODUCTION SUCCESS OF HERBACEOUS PERENNIALS IN UKRAINE STEPPE

Krokhmal I. I.

*Institute for evolutionary ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine
E-mail: dies_iraе78@mail.ru*

The analysis of 463 species of herbaceous perennials of the world flora was performed and ecological and biological determinants of their introduction success in the Ukraine steppe were defined. High adaptation to the climatic conditions of the Ukrainian

steppe is characteristic for the following species: with life-forms of rosetteless hemicryptophytes and rosette geophytes; those with rhizomatous and bulbous roots; for xerophytic, subxerophytic and submesophytic by hydrotype species; for steppe and petrophyte by their coenotype species, and according to phenorhythm type for spring green ephemerooids with summer-autumn-winter dormancy, long growing autumn-winter-spring green plants with summer dormancy and long growing spring-summer-autumn green plants with winter dormancy. It is revealed that Caucasian-West Asian, West Asian, European, European-Mediterranean, North American and Eurasian grassy perennial species are most adapted to the conditions of Ukrainian steppe.

Successful introduction of herbaceous perennials depends on their ecological amplitude relative to climatic factors: thermoregime, ombroregime, kontrastoregime and cryoregime. A high degree of adaptation is characteristic of the species whose range covers the areas of the globe with an average value of thermal regime making $46 \text{ kcal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, contrast regime of 142 %, ombroregime of -533 mm precipitation, crioregime of $-8,3^{\circ}\text{C}$. Introduction success of the species turned out to be increasing with amplitude of the climatic factors.

We prognosticated introduction success of herbaceous perennials in the steppe zone of Ukraine. Regions – donors for their introduction are North Cascade Mountains (Washington), some areas of the Great Lakes (Ohio, Pennsylvania), the Carpathians, the Pannonian Plain and the Lower Danube, west of the Greater Caucasus, Western Transcaucasia, Ciscaucasia, Korean Peninsula, north of the Honshu island.

Keywords: amplitude of ecological tolerance, adaptation, regions-donors successfully introduced plant species.

References

1. The Convention on Biological Diversity, (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992), 32 p.
2. Malyshev L. I., The dependence of the floristic richness on the external conditions and historical factors, *Botan. journ.* **54**, 1137 (1969).
3. Malyshev L. I., Forecast spatial diversity and studying the flora of Siberia, *Biodiversity: the degree taxonomic scrutiny: reports all-union conference.* (Science, Moscow, 1994).
4. Uitteker R., *Communities and ecosystems*, 327 (Logos, Moscow, 2001).
5. Mirkin B. M., Rozenberg G. S., *Explanatory dictionary of modern phytocenology*, 134 (Moscow, 1983).
6. Chernov Yu. I., Biological diversity: the essence and problems, *Successes of modern biology*, **111(4)**, 499 (1991).
7. Chapin III F., Sala S. O. E., Huber-sannwald E., *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century* (Springer-Verlag, New York, 2001).
8. Mayer H., *Walbau auf naturgeschichtlicher Grundlage*, 568 (Pareyd, Berlin, 1909).
9. Muzychuk G. M., New approaches to programming introduction and implementation of ornamental plants in horticulture Ukraine, *Materials Intern. scientific-practic. conf. "Achievements and Challenges of plant introduction in the steppe zone of Ukraine"* (Aylant, Kherson: 2007).
10. *Flora USSR: in 30 v.* (Science, Moscow; Leningrad): **4**, 760 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1935); **6**, 956 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1936); **7**, 792 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1937); **8**, 696 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1939); **9**, 842 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1939); **10**, 675 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1941); **14**, 790 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1949); **15**, 742 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1949); **16**, 648 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1950); **18**, 802 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1952); **20**, 556 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1954); **21**, 704 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1954); **22**, 861 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1955); **24**, 502 p. (Science,

- Moscow; Leningrad, 1957); **25**, 630 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1959); **26**, 940 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1961); **28**, 657 p. (Science, Moscow; Leningrad, 1961).
11. *Flora Europaea* – Volume 1. Lycopodiaceae to platanaceae. (Cambridge at the University press, 1964).
 12. *Flora Europaea* – Volume 4. Plantaginaceae to compositae (and) Rubiaceae. (Cambridge London New York Melbourne, 1976).
 13. *Flora Europaea* Volume 3. Diapensiaceae to Myoporaceae. (Cambridge at the University Press, 1972).
 14. Poletiko O. M., Mishenkova A. P., *Ornamental herbaceous plants of open ground. Handbook of nomenclature of genera and species*, 208 (Science, Leningrad, 1967).
 15. *Ornamental herbaceous plants for open ground*, **2**, 458 (Science, Leningrad, 1977).
 16. *Introduction of plants of the natural flora of the USSR. Handbook*, 431 (Science, Moscow, 1979).
 17. *Ornamental plants of the USSR*, 320 (Thought, Moscow, 1986).
 18. *Forest herbaceous plants. Biology and conservation: handbook*, 223 (Agropromizdat, Moscow, 1988).
 19. *Meadow herbaceous plants. Biology and Conservation: handbook*, 183 (Agropromizdat, Moscow, 1990).
 20. Golubev V. N., *The biological flora of Crimea*, 126 (Publishing house «NBG-NSC», Yalta, 1996).
 21. *Flora of North America*. (www.efloras.org/flora).
 22. *Ekoflora Ukraine*. **1**, 284 (Fitosotsiotsentr, Kiev, 2000).
 23. Bakanova V. V., *Floral and ornamental perennials of open ground*, 56 (Scientific Thought, Kiev, 1983)

УДК 612.821 612. 453.

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО КОРТИЗОЛА В СЛЮНЕ И МОЩНОСТИ РИТМОВ ЭЭГ В СОСТОЯНИИ СПОКОЙНОГО БОДРСТВОВАНИЯ

Куличенко А. М.¹, Аликина М. А.¹, Гордиенко А. И.², Химич Н. В.², Павленко В. Б.¹

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

*²Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

У 33 испытуемых обоего пола в возрасте от 12 до 35 лет ($21,55 \pm 4,05$) исследовали особенности спектральной плотности мощности (СПМ) электроэнцефалограммы (ЭЭГ), содержания кортизола в слюне и показателей текущего психофизиологического состояния. Концентрацию свободного кортизола в слюне определяли методом иммуноферментного анализа; забор образцов в течение суток проводили три раза: в 7:00, в 13:00 и в 23:00. Для оценки текущего психофизиологического состояния (тревожность, психическое утомление, психическое напряжение, эмоциональный стресс, сумма аутогенного отклонения, нестабильность регуляции, вегетативный коэффициент, показатель работоспособности) применяли методику цветовой психодиагностики «Попарные сравнения». Во время эксперимента четырехкратно проводилась запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах. Показано, что суммарное отклонение, нестабильность регуляции и показатель работоспособности отрицательно коррелируют с уровнем кортизола в слюне, собранной в 7:00. Изучены особенности взаимосвязей содержания свободного кортизола в слюне с СПМ ритмов ЭЭГ. Выявлено, что структура наблюдаемых взаимосвязей зависит от времени сбора биологического материала. Наибольшее число статистически значимых взаимосвязей со значениями содержания свободного кортизола в слюне, собранной непосредственно перед началом регистрации ЭЭГ-активности, обнаруживает СПМ альфа-ритма. Наиболее тесные корреляции проявились в задне-темпоральных отведениях обоих полушарий. Таким образом, коррелятом уровня стресса можно считать низкую СПМ альфа-ритма ЭЭГ.

Ключевые слова: кортизол, спектральная плотность мощности ЭЭГ, психофизиологическое состояние, спокойное бодрствование при закрытых глазах.

ВВЕДЕНИЕ

Стресс был признан одним из основных факторов, способствующих хроническим расстройствам и потерям производительности труда. С длительным воздействием стресса был связан целый ряд проблем со здоровьем, таких как болезни сердца, ожирение, сахарный диабет, инсульт и депрессия [1–5]. Поэтому оценка стресса на ранней стадии важна с целью предотвращения ухудшения здоровья. Актуальность данной проблемы подчеркивается и тем, что эмоциональные и физические нагрузки участвуют в создании повседневного фона социальной деятельности человека.

Психофизиологическая концепция стресса, в которой описан «неспецифический ответ организма на любое предъявление ему требования», была введена в 1936 году Г. Селье [6]. Стрессор, вызывая неспецифическую адаптационную реакцию организма, влияет на его гомеостаз (то есть изменяет константы внутренней среды). Чтобы противостоять стрессу (то есть восстановить гомеостаз), во время «каскада реакций на стресс» гипоталамус активирует симпатическую нервную систему и эндокринные органы, основные функциональные связи которых представлены в виде двух осей: симпато-адреналомедуллярной (САМ, также называемой норадренергической схемой) и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГГН-системой) [7–9].

САМ-система инициирует выброс надпочечниками адреналина и норадреналина, которые обеспечивают немедленный ответ («бейся или беги»), включая увеличение частоты сердечных сокращений и проводимости кожи, что связано с подготовкой к сильному мышечному действию [8]. Это действие наступает быстро, обеспечивая немедленный ответ («бейся или беги»), но и быстро прекращается.

ГГН-система инициирует выброс каскада гормонов, действие которых наступает медленнее, но оно может быть достаточно продолжительным. При этом гипоталамус выделяет кортиколиберин, вызывающий секрецию гипофизом адренокортикотропного гормона (АКТГ). Под влиянием последнего в коре надпочечников стимулируется секреция «гормона стресса» – кортизола. Концентрацию гормона кортизола в сыворотке крови или в слюне рассматривают как объективный индикатор уровня стресса. Кортизол, с одной стороны, увеличивает энергообмен в тканях, обеспечивая возросшие требования организма, с другой – угнетает секрецию кортиколиберина и АКТГ гормона, снижая интенсивность стрессовой реакции, защищая организм от перегрузки. Механизм такого влияния включает тормозящее воздействие кортизола через специфические рецепторы на активность нейронных сетей ключевых структур центральной нервной системы, включая гиппокамп и гипоталамус [10, 11]. В результате больше энергии предоставляется органам, которые в ней больше всего нуждаются (мозг и сердце), в то время как «ненужные» для немедленного выживания органы (репродуктивная, иммунная и пищеварительная системы) ингибируются. Этот каскад стрессовых реакций заканчивается при восстановлении гомеостаза. Таким образом, связи между секрецией кортизола и активностью центральной нервной системы носят двусторонний характер.

Стресс может быть измерен и оценен на основе перцептивных, поведенческих и физиологических ответов. Психологи и психотерапевты традиционно оценивают стресс с помощью опросников [12]. Однако подобная оценка является субъективным методом, подверженным различным искажениям [13]. Более объективной являются оценка уровня стресса с помощью определения концентрации кортизола [14, 15] и альфа-амилазы в слюне [16, 17].

Свободный кортизол, считающийся активной фракцией, составляет всего 1–2 %. В отсутствие значимого количества кортизолсвязывающих белков в слюне кортизол, находящийся в слюне, считается свободным. Его уровень подчиняется

суточному ритму, достигая максимального значения утром, а минимального – ночью.

К альтернативными мерам оценки уровня стресса с более коротким временем ответа относятся биосигналы, включая частоту сердечных сокращений, артериальное давление и проводимость кожи [18–22]. Прямые измерения кортикальной реакции на стресс могут быть получены неинвазивно с помощью современных методов нейровизуализации. Регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) является одним из наиболее часто используемых и доступных методов нейровизуализации для изучения функций и состояний мозга. ЭЭГ отражает флуктуации электрических полей суммарной активности нейронов при миллисекундном разрешении [23, 24]. Для оценки эмоциональных состояний сигналы ЭЭГ оцениваются в нескольких отдельных полосах частот, включая дельта-, тета-, альфа- и бета-ритм. Считается, что альфа- и бета-частоты связаны с отрицательным настроением, стрессом и депрессией [25–28]. Следует выделить более детальные сообщения Маршалла и Лопес-Дюрана об отрицательной корреляции между ритмами ЭЭГ и стрессовыми событиями в префронтальной коре, где альфа-ритм снижается в результате стресса [29, 30]. Чой и соавторы обнаружили позитивную корреляцию между стрессом и ритмами мощности ЭЭГ в височных отведениях [31]. С другой стороны, мощность тета-ритма во фронтальной области была связана с трудностью задачи (тета-ритм уменьшается с увеличением сложности задачи) [32]. Несколько исследований показали, что ЭЭГ-сигналы могут быть использованы для классификации психического напряжения в состоянии покоя [33–37].

Один из самых заметных коррелятов тревоги, вызванный психосоциальным стрессом, отражается в альфа-полосе и, в частности, в асимметрии ЭЭГ. Tops et al. (2006 г.) показали, что введение кортизола, имитирующее стрессовую ситуацию, приводит к глобальному снижению активности коры (за исключением левой фронтальной области коры, в которой активность увеличивается) [38]. Однако другие исследования [39, 40] показали, что стресс связан с более высокой активностью в правом полушарии и что активация правого полушария коррелировала с негативным воздействием. Для Crost et al. (2008 г.), объяснение этих противоречивых результатов состоит в том, что связь между ЭЭГ-асимметрией и характеристиками личности, такими как тревожность, может наблюдаться только в соответствующих ситуациях с участием интересующих личностей [41].

Наиболее часто изучаемым из всех состояний человека является состояние спокойного бодрствования или относительного покоя. Это определяется относительной простотой изучения данного состояния как в условиях лабораторного эксперимента, так и в клинике. Для его формирования, как правило, не требуется создавать некие специфические условия – достаточной является адаптация испытуемых (обследуемых) к естественным условиям ЭЭГ-обследования. ЭЭГ-характеристики спокойного бодрствования определяются как индивидуальными особенностями каждого человека, так и состоянием зрительного анализатора. Вследствие этого следует выделять состояние покоя с закрытыми и

открытыми глазами. Доминирующей в электрограммах спокойного бодрствования с закрытыми глазами более чем 85 % людей является альфа-активность.

Однако интерес исследователей к состоянию спокойного бодрствования определяется не только простотой его формирования. В ЭЭГ-исследованиях следует учитывать высокую чувствительность ЭЭГ к шуму и внутрииндивидуальную вариативность реакций (изменения эмоционального состояния, колебания внимания, привыкание, ориентировочные реакции, артефакты от неконтролируемых движений глаз, изменения зрачка, сокращения ушных мышц и моргания), а также необходимость в программном удалении артефактов в записях, которое, в свою очередь, может исказить результаты. На основании вышеперечисленных особенностей предполагается, что для изучения взаимосвязи уровня свободного кортизола с ритмами ЭЭГ является более предпочтительной регистрация ЭЭГ лиц, находящихся в состоянии покоя при закрытых глазах. Данное предположение обусловлено еще и тем, что состояние покоя занимает ключевое положение среди всех состояний человека, представленных на шкале уровней бодрствования. Именно в состоянии покоя в ЭЭГ регистрируются практически все описанные выше компоненты, соответствующие классическим ритмам, могут быть наиболее отчетливо прослежены все основные закономерности пространственно-временной организации биоэлектрической активности мозга.

Принимая во внимание актуальность вышеизложенной проблемы, целью настоящего исследования явился анализ взаимосвязей между значениями концентраций кортизола в слюне со спектральной мощностью ритмов ЭЭГ лиц, находящихся в состоянии покоя при закрытых глазах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

33 испытуемых обоего пола в возрасте от 17 до 32 лет ($21,1 \pm 2,9$) участвовали в исследовании ЭЭГ, показателей текущего психофизиологического состояния и содержания кортизола в слюне. Время обследования – 11–13 часов. У обследуемых не было верифицированных диагнозов психических или неврологических расстройств. Респондентами было дано письменное согласие на участие в проведении эксперимента.

Во время регистрации ЭЭГ участники находились в комфортных условиях. Испытуемым предложено свести к минимуму движения на протяжении всего эксперимента и сохранять спокойствие.

Для количественной оценки текущего психофизиологического состояния, включая тревожность, психическое утомление, психическое напряжение, эмоциональный стресс, сумму аутогенного отклонения, нестабильность регуляции, вегетативный коэффициент, показатель работоспособности, применяли методику цветовой психодиагностики «Попарные сравнения», представляющую собой модифицированный вариант краткого (восьмицветового) теста М. Люшера. Данная методика была разработана на факультете психологии Санкт-Петербургского университета Ю. И. Филимоновым, В. Ю. Рыбниковым, Ю. В. Горским по заказу Военно-Морского Флота в 1994 г. [42]. Проективный характер цветового теста, простота и кратковременность обследования, возможность количественной оценки

психического состояния испытуемых определили выбор этого теста для обследования.

Учитывая, что применение биохимических методов оценки кортизола затруднено из-за сложности забора крови из вены и пальца, возникла необходимость изучения возможности применения для данных целей других биологических жидкостей и использования бескровных методов, более пригодных в условиях реальной деятельности. Кроме того, оценивали именно кортизол слюны, поскольку ранее было показано, что концентрация кортизола не только в крови, но и в слюне может меняться параллельно с энергией ЭЭГ в диапазоне 6,5–14,0 Гц, который включает альфа-ритм [43].

Всех участников просили воздержаться от приема пищи, курения и использования жевательной резинки не менее чем за два часа до эксперимента. Слюну собирали с помощью специального устройства SaliCap® (IBL International); полученные образцы хранили при температуре -20°C . Непосредственно перед проведением анализа образцы слюны размораживали и центрифугировали при 1500 g в течение 5 мин. Содержание свободного кортизола определяли методом иммуноферментного анализа с использованием диагностических наборов *Salivary Cortisol ELISA Kit SLV-2930 (DRG)*. Данный фрагмент исследований проводился в Центральной научно-исследовательской лаборатории Медицинской академии имени С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского».

Для записи ЭЭГ использовался электроэнцефалограф Нейрон-Спектр-5. Запись ЭЭГ проводилась по международному стандарту установки электродов по схеме 10–20 %. Использовались 19 электродов (Fz, Cz, Pz, Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, C3, C4, T5, T6, P3, P4, O1, O2), монополярная схема с ипсилатеральными ушными референтами. Нейтральный («заземляющий») электрод располагали между локусами Fz и Cz. Частота дискретизации ЭЭГ составляла 250 Гц, а импеданс был сведен к минимуму с помощью небольшого количества геля, нанесенного на кожу головы (максимальный импеданс – менее 5 кОм). Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли соответственно 1,5 и 35 Гц.

Процедура исследования включала в себя регистрацию фоновой ЭЭГ в состоянии двигательного покоя при закрытых и открытых глазах. Данные ЭЭГ были обработаны с использованием Фурье-преобразования. В настоящем исследовании использовалось разложение данных ЭЭГ на четыре полосы частот: тета- (4–8 Гц), альфа- (8–12,5 Гц) и бета1- (13–20 Гц) и бета2- (20–30 Гц). Спектральная плотность мощности (СПМ) ЭЭГ рассчитывалась для образцов ЭЭГ, зарегистрированных в этих состояниях раздельно. Длительность непрерывной записи каждого анализируемого фрагмента составляла 60 с. Для дальнейшего анализа с целью минимизации разброса значений СПМ ритмов использовались усредненные значения по четырем последовательным записям ЭЭГ-активности испытуемых, находящихся в состоянии двигательного покоя при закрытых глазах.

Результаты исследования количественно обрабатывались с использованием стандартных приемов вариационной статистики при помощи программного обеспечения Statistica version 10. Для оценки характера распределения выборочных

данных использовали W-критерий Шапиро и Уилка. Для анализа выборочных данных, отличающихся от нормального распределения, использовали непараметрические методы. Для оценки корреляционных связей между показателями применяли непараметрический критерий Спирмена. Для оценки различий между группами – U-критерий Манна – Уитни.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью контроля возможных влияний обстановки и процедуры проведения эксперимента испытуемым предлагалось пройти методику «Попарные сравнения» дважды: до и после записи ЭЭГ. В результате сравнения показателей актуального состояния, соответствующих этапам проведения эксперимента, значимых различий не выявлено. Данный факт указывает на минимизацию негативных эффектов процедуры проведения эксперимента. При сопоставлении данных по половому признаку также не обнаружено значимых различий исследуемых показателей как в исходном состоянии, так и в случае эффектов последствия.

Установлено, что у испытуемых индивидуальные уровни свободного кортизола в слюне, собранной в разное время суток, достаточно сильно варьировали (рис. 1), вследствие чего статистически достоверные различия между медианами для этого показателя отсутствовали.

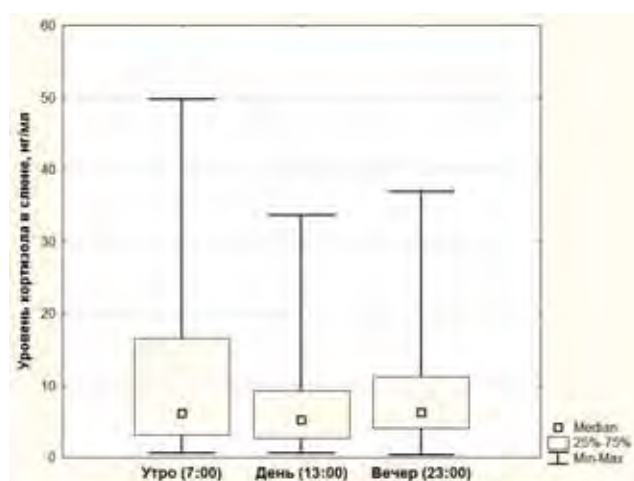


Рис. 1. Концентрация кортизола в слюне, собранной в разное время суток (приведены медианы, квантили, минимальные и максимальные значения).

Корреляционный анализ позволил выявить ряд статистически значимых взаимосвязей между содержанием свободного кортизола в слюне, собранной в разное время суток, и показателями психофизиологического состояния во время

проведения эксперимента (методика цветовой психодиагностики «Попарные сравнения») (таблица). Как видно из таблицы, с величиной концентрации свободного кортизола в слюне, собранной утром, негативно коррелируют показатели суммарного отклонения от аутогенной нормы ($r=-0,50$, $p=0,025$), нестабильности регуляции ($r=-0,48$, $p=0,032$) и работоспособности ($r=-0,48$, $p=0,040$).

Таблица

Взаимные связи между концентрацией свободного кортизола в слюне, собранной в разное время суток, и показателями текущего психофизиологического состояния (методика цветовой психодиагностики «Попарные сравнения»)

	Уровень кортизола в слюне, собранной утром		Уровень кортизола в слюне, собранной во время эксперимента		Уровень кортизола в слюне, собранной вечером	
	r	p	r	p	r	p
Тревожность	-0,34	0,14	0,06	0,78	-0,27	0,26
Психическое утомление	-0,24	0,30	-0,09	0,66	-0,30	0,19
Психическое напряжение	0,12	0,63	-0,19	0,34	0,29	0,22
Эмоциональный стресс	0,04	0,86	0,13	0,52	-0,33	0,15
Суммарное отклонение	-0,50	0,03	0,09	0,65	-0,16	0,51
Нестабильность регуляции	-0,48	0,03	0,12	0,54	-0,39	0,09
Вегетативный коэффициент	0,44	0,053	0,04	0,84	0,41	0,07
Показатель работоспособности	-0,46	0,04	0,10	0,61	-0,18	0,45

Вегетативный коэффициент имеет лишь тенденцию к значимой положительной взаимосвязи с величиной концентрации свободного кортизола в слюне, собранной утром ($r=0,44$, $p=0,053$). При анализе взаимосвязи концентрации кортизола в слюне, собранной во время эксперимента и вечером, статистически значимых корреляций с показателями текущего психофизиологического состояния не обнаружено.

Таким образом, как видно из таблицы, уровень кортизола в слюне, собранной утром, в большей степени, по сравнению с другими использованными пробами, обуславливает наблюдаемое во время эксперимента психофизиологическое состояние.

Анализ корреляции характеристик ЭЭГ и содержания кортизола в слюне, собранной утром, показал, что уровень кортизола в слюне статистически значимо отрицательно коррелирует с СПМ тета-ритма фронтального отведения правого полушария Fp2 ($r = -0,41$, $p = 0,049$), а также с СПМ бета2-ритма в локусах Pz ($r = -0,42$, $p = 0,039$) и P3 ($r = -0,41$, $p = 0,048$) (рис. 2).

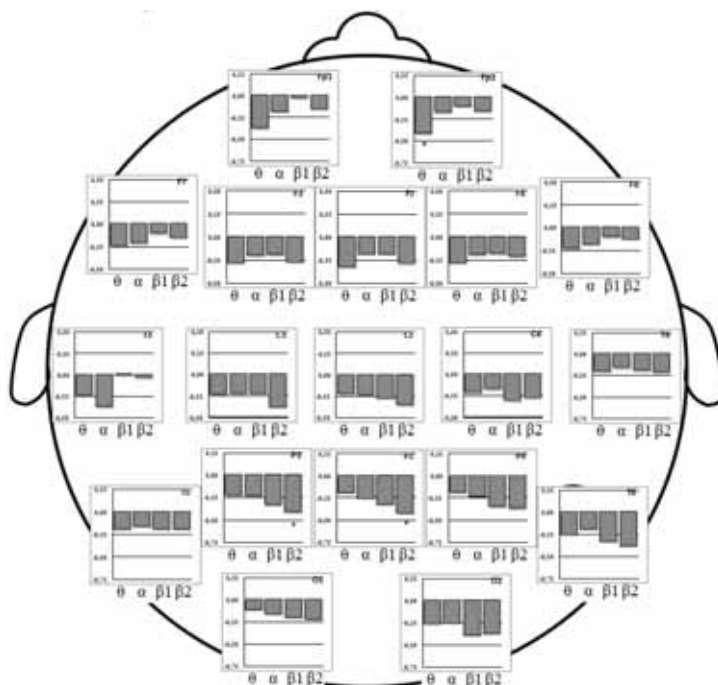


Рис. 2. Диаграммы значений коэффициентов корреляции между величинами спектральной плотности мощности ритмов ЭЭГ в различных отведениях (указаны на диаграммах) и содержанием кортизола в слюне, собранной утром.

Здесь и далее: каждый график на рисунке соответствует определенному отведению. По оси абсцисс представлены ритмы ЭЭГ, для которых в данных отведениях вычислялись корреляционные коэффициенты: тета-, альфа-, бета1- и бета2-ритм ЭЭГ (θ , α , $\beta 1$ и $\beta 2$ соответственно); по оси ординат – величины коэффициентов корреляции. Одной и двумя звездочками обозначены случаи корреляции, значимые при $P \leq 0,05$ и $P \leq 0,01$ соответственно (коэффициент корреляции Спирмена).

Гораздо большее число значимых корреляций наблюдалось между значениями СПМ ритмов ЭЭГ и содержанием кортизола в слюне, собранной во время эксперимента (рис. 3).

Так, в условиях регистрации ЭЭГ при закрытых глазах значения концентрации кортизола в слюне значимо отрицательно коррелировали с СПМ альфа-ритма всех отведений, исключая локусы F4, C3 и T3 (см. рис. 3). Таким образом, при значительной концентрации свободного кортизола в слюне мощность альфа-ритма в

большинстве локусов обычно понижена. Вместе с альфа-ритмом со значениями концентрации кортизола в слюне, собранной во время эксперимента, коррелировал бета1-ритм. Статистически значимыми явились взаимосвязи СПМ данного диапазона, зарегистрированного в обоих окципитальных отведениях: в O1 – $r=-0,41$, $p=0,017$, в O2 – $r=-0,36$, $p=0,042$.

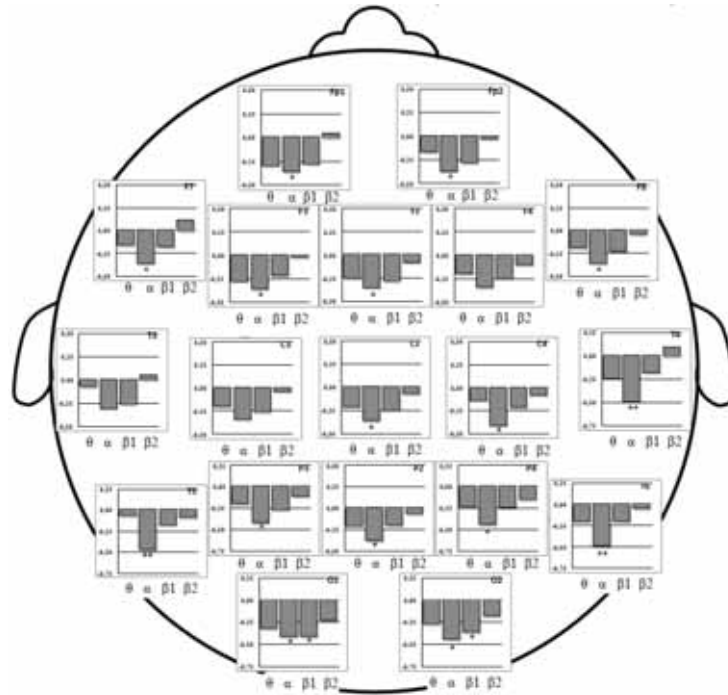


Рис. 3. Диаграммы значений коэффициентов корреляции между величинами спектральной плотности мощности ритмов ЭЭГ в различных отведениях и содержанием кортизола в слюне, собранной во время эксперимента.

Обозначения те же, что и на рис. 2.

Анализ корреляции характеристик ЭЭГ и содержания кортизола в слюне, собранной вечером, показал, что уровень кортизола в слюне статистически значимо отрицательно коррелирует со СПМ бета1-ритма, отведенного в локусах Fp2 ($r = -0,41$, $p = 0,048$), T4 ($r = -0,47$, $p = 0,022$) и T5 ($r = -0,43$, $p = 0,038$) соответственно (рис. 4).

Исходя из представленных данных, альфа-ритм, зарегистрированный в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах, является более чувствительным к стрессу по сравнению с бета-ритмом.

Обнаруженные взаимосвязи величины концентрации свободного кортизола в слюне, собранной утром, и показателей актуального времени проведения эксперимента психофизиологического состояния указывают на возможность прогнозирования работоспособности и стрессоустойчивости.

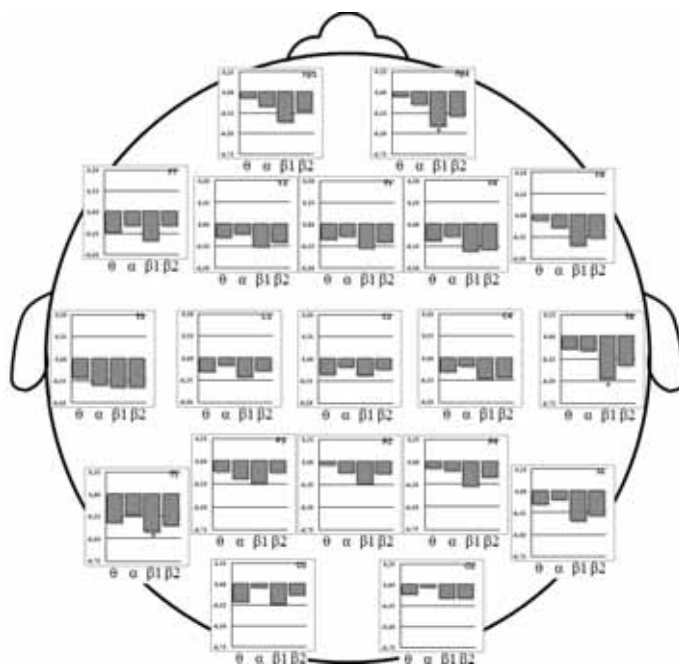


Рис. 4. Диаграммы значений коэффициентов корреляции между величинами спектральной плотности мощности ритмов ЭЭГ в различных отведениях и содержанием кортизола в слюне, собранной вечером.

Обозначения те же, что и на рис. 2.

В целом, результаты согласуются с растущим объемом исследований, предполагающих, что эмоциональные процессы служат регуляторным функциям, которые способствуют формированию адаптивных реакций на стресс.

Результаты настоящего и проведенных ранее исследований указывают на необходимость дальнейшего изучения нейрофизиологической природы стресса. Исследование взаимосвязей суммарной электрической активности головного мозга с объективными показателями стресса, возможно, позволит обнаружить дополнительные звенья в цепи взаимодействия центральных и гуморальных механизмов формирования стресса, что позволит разработать новые протоколы нейротерапии для его коррекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С величиной концентрации свободного кортизола в слюне, собранной утром, негативно коррелируют следующие показатели психофизиологического состояния испытуемых, оцененные с помощью методики цветовой психодиагностики «Попарные сравнения»: суммарное отклонение от аутогенной нормы ($r=-0,50$, $p=0,025$), нестабильность регуляции ($r=-0,48$, $p=0,032$) и работоспособность ($r=-0,48$, $p=0,040$).

2. Между уровнем свободного кортизола в слюне, собранной во время проведения эксперимента, и спектральной плотностью мощности альфа-ритма в большинстве отведений ЭЭГ испытуемых, находящихся в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах, выявлена статистически значимая отрицательная взаимосвязь.

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. McEwen B. S. Central effects of stress hormones in health and disease: Understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators. / McEwen B. S. // Eur. J. Pharmacol. – 2008. – 583 (2-3). – P. 174–185.
2. Strike P. C. Systematic review of mental stress-induced myocardial ischaemia. / Strike P. C., Steptoe A. // Eur. Heart J. – 2003. – 24(8). – P. 690–703.
3. Tsutsumi A. Impact of occupational stress on stroke across occupational classes and genders. / Tsutsumi A., Kayaba K., Ishikawa S. // Soc. Sci. Med. – 2011. – 72 (10). – P. 1652–1658.
4. Ajjan R. A. Cardiovascular disease prevention in patients with type 2 diabetes: The role of oral anti-diabetic agents. / Ajjan R. A., Grant P. J. // Diab. Vasc. Dis. Res. – 2006. – 3(3). – P. 147–158.
5. Hammen C. Stress and depression. / Hammen C. // Annu. Rev. Clin. Psychol. – 2005. – 1(1). – P. 293–319.
6. Selye H. A. Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. / Selye H. A. // Nature. – 1936. – 138, (3479). – P. 32.
7. Sinha R. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis and sympatho-adreno-medullary responses during stress-induced and drug cue-induced cocaine craving states. / Sinha R., Talih M., Malison R., Cooney N., Anderson G.-M., Kreek M.-J. // Psychopharmacology. – 2003. – 170. – P. 62–72.
8. Dickerson S. S. Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. / Dickerson S. S., Kemeny M. E. // Psychol. Bull. – 2004. – 130. – P. 355–391.
9. Taniguchi K. Method for Objectively evaluating psychological stress resulting when humans interact with robots. / Taniguchi K., Nishikawa A., Sugino T., Aoyagi S., Sekimoto M., Takiguchi S. et al. // China: InTech. – 2009.
10. Gaesser B. Constructing Memory, Imagination, and Empathy: / Gaesser B. // A Cognitive Neuroscience Perspective. Frontiers in Psychology. – 2012. – 3. – P. 576.
11. Baeken C. One left dorsolateral prefrontal cortical HF-rTMS session attenuates HPA-system sensitivity to critical feedback in healthy females. / Baeken C., Vanderhasselt M. A., Remue J., Rossi V., Schiettecatte J., Anckaert E. and De Raedt R. // Neuropsychologia. – 2014. – 57. – P. 112.
12. Cohen S., Kessler R. C., Gordon L. U. Measuring Stress: A Guide for Health and Social Scientists (Oxford University Press on Demand), 1997.
13. Liu T.-K. Noninvasive evaluation of mental stress using by a refined rough set technique based on biomedical signals / Liu T.-K., Chen Y.-P., Hou Z.-Y., Wang C.-C., Chou J.-H. // Artif. Intell. Med. – 2014. – 61(2). – P. 97–103.
14. Hellhammer D. H. Salivary cortisol as a biomarker in stress research / Hellhammer D. H., Wüst S., Kudielka B. M. // Psychoneuroendocrinology. – 2009. – 34(2). – P. 163–171.
15. Gröschl M. Circadian rhythm of salivary cortisol, 17 α -hydroxyprogesterone, and progesterone in healthy children / Gröschl M., Rauh M., Dörr H.-G. // Clin. Chem. – 2003. – 49 (10). – P. 1688–1691.

16. Granger D. A. Salivary α -amylase in biobehavioral research: recent developments and applications / Granger D. A., Kivlighan K. T., el-Sheikh M., Gordis E. B., Stroud L. R. // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* – 2007. – 1098 (1). – P. 122–144.
17. Engert V. Investigation into the cross-correlation of salivary cortisol and alpha-amylase responses to psychological stress / Engert V., Vogel S., Efanov S. I., Duchesne A., Corbo V., Ali N., Pruessner J. C. // *Psychoneuroendocrinology*. – 2011. – 36 (9). – P. 1294–1302.
18. Singh R. R. A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals / Singh R. R., Conjeti S., Banerjee R. // *Biomed Sig Proc. Cont.* – 2013. – 8(6). – P. 740–754.
19. Healey J. A. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors / Healey J. A., Picard R. W. // *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* – 2005. – 6(2). – P. 156–166.
20. Verma G. K. Multimodal fusion framework: A multiresolution approach for emotion classification and recognition from physiological signals / Verma G. K., Tiwary U. S. // *Neuroimage*. – 2014. – 102 (Pt 1). – P. 162–172.
21. Ashton H. A method for measuring human behavioural and physiological responses at different stress levels in a driving simulator / Ashton H., Savage R. D., Thompson J. W., Watson D. W. // *Br. J. Pharmacol.* – 1972. – 45(3). – P. 532–545.
22. Vrijkotte T. G. Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability / Vrijkotte T. G., van Doornen L. J., de Geus E. J. // *Hypertension*. – 2000. – 35(4). – P. 880–886.
23. Vézard L. EEG classification for the detection of mental states / Vézard L., Legrand P., Chavent M., Faïta-Aïnseba F., Trujillo L. // *Appl. Soft Comput.* – 2015. – 32. – P. 113–131.
24. Michel C. M. Towards the utilization of EEG as a brain imaging tool / Michel C. M., Murray M. M. // *Neuroimage*. – 2012. – 61(2). – P. 371–385.
25. Huiku M. Assessment of surgical stress during general anaesthesia / Huiku M., Uutela K., van Gils M., Korhonen I., Kymäläinen M., Meriläinen P., Paloheimo M., Rantanen M., Takala P., Viertiö-Oja H., Yli-Hankala A. // *Br. J. Anaesth.* – 2007. – 98 (4). – P. 447–455.
26. Chanel G. Emotion assessment: Arousal evaluation using EEG's and peripheral physiological signals / Chanel G., Kronegg J., Grandjean D., Pun T. // *Multimedia Content Representation, Classification and Security*. – 2006. – 4105. – P. 530–537.
27. Takahashi T. Changes in EEG and autonomic nervous activity during meditation and their association with personality traits, / Takahashi T., Murata T., Hamada T., Omori M., Kosaka H., Kikuchi M., Yoshida H., Wada Y. // *Int. J. Psychophysiol.* – 2005. – 55(2). – P. 199–207.
28. Wheeler R. E. Frontal brain asymmetry and emotional reactivity: A biological substrate of affective style / Wheeler R. E., Davidson R. J., Tomarken A. J. // *Psychophysiology*. – 1993. – 30(1). – P. 82–89.
29. Marshall A. C. The effects of long-term stress exposure on aging cognition: a behavioral and EEG investigation, / Marshall A. C., Cooper N. R., Segrave R., Geeraert N. // *Neurobiol. Aging*. – 2015. – 36 (6). – P. 2136–2144.
30. Lopez-Duran N. L. Frontal EEG asymmetry moderates the effects of stressful life events on internalizing symptoms in children at familial risk for depression, / Lopez-Duran N. L., Nusslock R., George C., Kovacs M. // *Psychophysiology* – 2012. – 49 (4). – P. 510–521.
31. Choi Y. Measurement of occupants' stress based on electroencephalograms (EEG) in twelve combined environments / Choi Y., Kim M., Chun C. // *Build. Environ.* – 2015. – 88. – P. 65–72.
32. Missonnier P. Age-related differences on event-related potentials and brain rhythm oscillations during working memory activation, / Missonnier P., Herrmann F. R., Rodriguez C., Deiber M.-P., Millet P., Fazio-costa L., Gold G., Giannakopoulos P. // *J Neural Transm (Vienna)*. – 2011. – 118 (6). – P. 945–955.
33. Sharma N. Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification / Sharma N., Gedeon T. // *A survey, Comput. Methods Programs Biomed.* – 2012. – 108 (3). – P. 1287–1301.
34. Sharma N. Modeling observer stress for typical real environments. / Sharma N., Gedeon T. // *Expert Syst. Appl.* – 2014. – 41 (5). – P. 2231–2238.
35. Alberdi A. Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements / Alberdi A., Aztiria A., Basarab A. // *A review, J. Biomed. Inform.* – 2016. – 59. – P. 49–75.
36. Xin L. Stress State Evaluation by Improved Support Vector Machine, / Xin L., Zetao C., Yunpeng Z., Jiali X., Shuicai W., Yanjun Z. // *J. Med Imag. Health Inform.* – 2015. – 5(4). – P. 742–747.

37. Chanel G. Short-term emotion assessment in a recall paradigm / Chanel G., Kierkels J. J., Soleymani M., Pun T. // *Int. J. Hum. Comput. Stud.* – 2009. – 67 (8). – P. 607–627.
38. Tops M. State-dependent regulation of cortical activity by cortisol: an EEG study. / Tops M., van Peer J. M., Wester A. E., Wijers A. A., Korf J. // *Neurosci Lett.* – 2006. – 404 (1-2). – P. 39–43.
39. Lewis R. S. The effect of a naturalistic stressor on frontal EEG asymmetry, stress, and health. / Lewis R. S., Weekes N. Y., Wang T. H. // *Biol. Psychol.* – 2007. – 75. – P. 224–239.
40. Hewig J. Associations of the cortisol awakening response (CAR) with cortical activation asymmetry during the course of an exam stress period. / Hewig J., Schlotz W., Gerhard F., Breitenstein C., Luerken A., Naumann E. // *Psychoneuroendocrinology.* – 2008. – 33. – P. 83–89.
41. Crost N. W. Defensiveness and anxiety predict frontal EEG asymmetry only in specific situational contexts. / Crost N. W., Pauls C. A., Wacker J. // *Biol. Psychol.* – 2008. – 78. – P. 43–52.
42. Филимоненко Ю. И. Методика попарных сравнений / Филимоненко Ю. И., Рыбников В. Ю., Горский Ю. И. – М.: Воениздат, 1994.
43. Sannita W. G. Adrenocorticotropin-related modulation of the human EEG and individual variability. / Sannita W. G., Loizzo A., Garbarino S., Gesino D., Massimilla S., Ogliastrò C. // *Neurosci. Lett.* – 1999. – 262. – P. 147–150.

RELATIONSHIP BETWEEN OF FREE CORTISOL IN SALIVES AND POWER OF EEG RHYTHMS IN THE STATE OF QUIET WALKING

Kulichenko A. M., Alikina M. A., Gordienko A. I., Khimich N. V., Pavlenko V. B.

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

In 53 subjects of both sexes aged 12 to 35 years ($21,55 \pm 4,05$) the peculiarities of the spectral characteristics of electroencephalogram (EEG), cortisol in saliva and indicators of the current psychophysiological state were investigated. Triple measurement (at 7.00, 13.00 and 23.00) content of free cortisol in saliva was performed using the method of immune-enzyme analysis. For a quantitative assessment of the current psychophysiological condition, including anxiety, mental fatigue, mental strain, emotional stress, the amount of autogenous deflection, instability of regulation of vegetative coefficient, a measure of health was used the technique of color psycho-diagnostics "Pairwise comparison", which is a modified version of the brief Lüscher color test. During the experiment, a four-time recordings were made of EEG in a state of quiet wakefulness with the eyes closed in accordance with the International 10–20 system. There was a tendency to significant association of cortisol levels in saliva with the vegetative coefficient. The interactions of the content of free cortisol in saliva with a spectral power density (PSD) of the EEG rhythms recorded in the state of quiet wakefulness with the closed eyes were studied. It was revealed that the structure of the observed relationships depended on the time of collection of biological material. The greatest number of statistically significant relationships of PSD EEG with the values of the content of free cortisol in saliva collected immediately before the beginning of registration of EEG activity detects PSD the alpha rhythm of the EEG. Most of the close correlation of the level of free cortisol in saliva with the value of PSD of the alpha rhythm of the EEG manifested in the posterior-temporal leads of both hemispheres.

It was shown that the total deflection, instability of regulation and the health score correlated negatively with cortisol levels in saliva collected at 7:00. Thus, a correlate of stress level can be considered as low-intensity alpha rhythm of the EEG.

Keywords: cortisol, the spectral power density of EEG, the state of quiet wakefulness with the closed eyes.

References

1. McEwen B. S. Central effects of stress hormones in health and disease: Understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators. *Eur. J. Pharmacol.* **583**, 2-3 (2008).
2. Strike P. C., Steptoe A., Systematic review of mental stress-induced myocardial ischaemia. *Eur. Heart J.* **24**, 8 (2003).
3. Tsutsumi A., Kayaba K., Ishikawa S., Impact of occupational stress on stroke across occupational classes and genders. *Soc. Sci. Med.* **72**, 10 (2011).
4. Ajjan R. A., Grant P. J. Cardiovascular disease prevention in patients with type 2 diabetes: The role of oral anti-diabetic agents. *Diab. Vasc. Dis. Res.* **3**, 3 (2006).
5. Hammen C. Stress and depression. *Annu. Rev. Clin. Psychol.* **1**, 1 (2005).
6. Selye H. A. Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature* **138**, 3479 (1936).
7. Sinha R., Talih M., Malison R., Cooney N., Anderson G.-M., Kreek M.-J. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis and sympatho-adreno-medullary responses during stress-induced and drug cue-induced cocaine craving states. *Psychopharmacology*, 170 (2003).
8. Dickerson S. S., Kemeny M. E. Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychol. Bull.* 130 (2004).
9. Taniguchi K., Nishikawa A., Sugino T., Aoyagi S., Sekimoto M., Takiguchi S. et al. Method for Objectively Evaluating Psychological Stress Resulting When Humans Interact with Robots. China: *InTech.* (2009).
10. Gaesser B. Constructing Memory, Imagination, and Empathy: A Cognitive Neuroscience Perspective. *Frontiers in Psychology*, 3 (2012).
11. Baeken C., Vanderhasselt M. A., Remue J., Rossi V., Schiettecatte J., Anckaert E. and De Raedt R. One left dorsolateral prefrontal cortical HF-rTMS session attenuates HPA-system sensitivity to critical feedback in healthy females. *Neuropsychologia*, 57, 112 (2014).
12. Cohen S., Kessler R. C., and Gordon L. U., Measuring Stress: A Guide for Health and Social Scientists (Oxford University Press on Demand, 1997).
13. Liu T.-K., Chen Y.-P., Hou Z.-Y., Wang C.-C., Chou J.-H., Noninvasive evaluation of mental stress using by a refined rough set technique based on biomedical signals. *Artif. Intell. Med.* **61**, 2, (2014).
14. Hellhammer D. H., Wüst S., Kudielka B. M., Salivary cortisol as a biomarker in stress research, *Psychoneuroendocrinology* **34**, 2 (2009).
15. Gröschl M., Rauh M., Dörr H.-G., Circadian rhythm of salivary cortisol, 17 α -hydroxyprogesterone, and progesterone in healthy children, *Clin. Chem.* **49**, 10 (2003).
16. Granger D. A., Kivlighan K. T., el-Sheikh M., Gordis E. B., Stroud L. R., Salivary α -amylase in biobehavioral research: recent developments and applications, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **1098**, 1 (2007).
17. Engert V., Vogel S., Efanov S. I., Duchesne A., Corbo V., Ali N., Pruessner J. C. Investigation into the cross-correlation of salivary cortisol and alpha-amylase responses to psychological stress, *Psychoneuroendocrinology* **36**, 9 (2011).
18. Singh R. R., Conjeti S., Banerjee R., A comparative evaluation of neural network classifiers for stress level analysis of automotive drivers using physiological signals, *Biomed Sig Proc. Cont* **8**, 6 (2013).
19. Healey J. A., Picard R. W., Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* **6**, 2 (2005).
20. Verma G. K. Tiwary U. S. Multimodal fusion framework: A multiresolution approach for emotion classification and recognition from physiological signals, *Neuroimage* **102**, Pt 1 (2014).
21. Ashton H., Savage R. D., Thompson J. W., Watson D. W. A method for measuring human behavioural and physiological responses at different stress levels in a driving simulator, *Br. J. Pharmacol.* **45**, 3 (1972).

22. Vrijkotte T. G., van Doornen L. J., de Geus E. J. Effects of work stress on ambulatory blood pressure, heart rate, and heart rate variability, *Hypertension* **35**, 4 (2000).
23. Vézard L., Legrand P., Chavent M., Faïta-Aïnseba F., Trujillo L. EEG classification for the detection of mental states, *Appl. Soft Comput.* **32** (2015).
24. Michel C. M., Murray M. M. Towards the utilization of EEG as a brain imaging tool, *Neuroimage* **61**, 2 (2012).
25. Huiku M., Uutela K., van Gils M., Korhonen I., Kymäläinen M., Meriläinen P., Paloheimo M., Rantanen M., Takala P., Viertiö-Oja H., Yli-Hankala A., Assessment of surgical stress during general anaesthesia, *Br. J. Anaesth.* **98**, 4 (2007).
26. Chanel G., Kronegg J., Grandjean D., Pun T. Emotion assessment: Arousal evaluation using EEG's and peripheral physiological signals, *Multimedia Content Representation, Classification and Security* 4105 (2006).
27. Takahashi T., Murata T., Hamada T., Omori M., Kosaka H., Kikuchi M., Yoshida H., Wada Y., Changes in EEG and autonomic nervous activity during meditation and their association with personality traits, *Int. J. Psychophysiol.* **55**, 2 (2005).
28. Wheeler R. E., Davidson R. J., Tomarken A. J., Frontal brain asymmetry and emotional reactivity: A biological substrate of affective style, *Psychophysiology* **30**, 1 (1993).
29. Marshall A. C., Cooper N. R., Segrave R., Geeraert N., The effects of long-term stress exposure on aging cognition: a behavioral and EEG investigation *Neurobiol. Aging* **36**, 6 (2015).
30. Lopez-Duran N. L., Nusslock R., George C., Kovacs M., Frontal EEG asymmetry moderates the effects of stressful life events on internalizing symptoms in children at familial risk for depression, *Psychophysiology* **49**, 4 (2012).
31. Choi Y., Kim M., Chun C., Measurement of occupants' stress based on electroencephalograms (EEG) in twelve combined environments, *Build. Environ.* **88** (2015).
32. Missonnier P., Herrmann F. R., Rodriguez C., Deiber M.-P., Millet P., Fazio-costa L., Gold G., Giannakopoulos P., Age-related differences on event-related potentials and brain rhythm oscillations during working memory activation, *J. Neural. Transm. (Vienna)* **118**, 6 (2011).
33. Sharma N., Gedeon T., Objective measures, sensors and computational techniques for stress recognition and classification: A survey, *Comput. Methods Programs Biomed.* **108**, 3 (2012).
34. Sharma N., Gedeon T., Modeling observer stress for typical real environments, *Expert Syst. Appl.* **41**, 5 (2014).
35. Alberdi A., Aztiria A., Basarab A., Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review, *J. Biomed. Inform.* **59**, (2016).
36. Xin L., Zetao C., Yunpeng Z., Jiali X., Shuicai W., Yanjun Z., Stress State Evaluation by Improved Support Vector Machine, *J. Med Imag. Health Inform.* **5**, 4 (2015).
37. Chanel G., Kierkels J. J., Soleymani M., Pun T., Short-term emotion assessment in a recall paradigm, *Int. J. Hum. Comput. Stud.* **67**, 8 (2009).
38. Tops M., van Peer J. M., Wester A. E., Wijers A. A., Korf J. State-dependent regulation of cortical activity by cortisol: an EEG study. *Neurosci Lett.* **404**, 1-2 (2006).
39. Lewis R. S., Weekes N. Y., Wang T. H. The effect of a naturalistic stressor on frontal EEG asymmetry, stress, and health. *Biol. Psychol.* **75** (2007).
40. Hewig J., Schlotz W., Gerhard F., Breitenstein C., Luerken A., Naumann E. Associations of the cortisol awakening response (CAR) with cortical activation asymmetry during the course of an exam stress period. *Psychoneuroendocrinology*, **33** (2008).
41. Crost N. W., Pauls C. A., Wacker J. Defensiveness and anxiety predict frontal EEG asymmetry only in specific situational contexts. *Biol. Psychol.* **78** (2008).
42. Filimonenko J. I., Rybnikov V. J., Gorskiy J. I. Metodika poparnyh sravnenij M.: Voenizdat (1994).
43. Sannita W. G., Loizzo A., Garbarino S., Gesino D., Massimilla S., Ogliaastro C. Adrenocorticotropin-related modulation of the human EEG and individual variability. *Neurosci Lett.*, **262** (1999).

УДК 577.112.4:598/599

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ МОЛЕКУЛ СРЕДНЕЙ МАССЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И ГОМОГЕНАТЕ НЕРВНОЙ ТКАНИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИПЕРИНСУЛИНЕМИИ

Никольская В. А., Лютослав И. С.

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

Данная статья отражает вопросы влияния гиперинсулинемического состояния на организм и значимость его изучения для диагностики биохимических изменений в приобретенном метаболическом нарушении. Рассмотрен показатель молекул средней массы, характеризующий уровень воздействия избыточных доз инсулина на кровь и нервную ткань лабораторных животных. Обнаружено, что экспериментальная гиперинсулинемия вызывает метаболическую перестройку в исследуемых тканях животных, приводящую к достоверному изменению уровня молекул средней массы разной степени выраженности.

Ключевые слова: гиперинсулинемия, молекулы средней массы, сыворотка крови, гомогенат нервной ткани.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в зависимости от патологического состояния организма изменяется содержание молекул средней массы (МСМ), что в определенной степени является прогностическим критерием нарушения обменных процессов. МСМ является гетерогенным пулом соединений, включающим в себя различные по химической природе вещества, основную часть которых составляют олигопептиды [1]. Стрессовое воздействие искусственно вызванной гиперинсулинемии, несомненно, не могло не отразиться на столь многокомпонентной многофункциональной ткани организма, как кровь. Во многих исследованиях показано, что дисбаланс между накоплением и элиминацией продуктов протеолиза из русла крови оказывает существенное влияние на организм и обнаруживается при различного вида патологических отклонениях [2] или стрессе пролонгированного действия [3].

В связи с этим целью данной работы явилось исследование влияния гиперинсулинемии на процесс образования МСМ в сыворотке крови и нервной ткани лабораторных крыс.

Обусловленность выбора объекта изучения, а именно нервной ткани, вызвана, прежде всего, значительным уровнем сопряжения ее функционирования с изменениями в крови, а также высокой специфичностью процессов, протекающих в данной ткани [4, 5]. Поскольку наблюдается прямая выраженная зависимость

состояния нервной ткани от кровотока [6], то представляло несомненный интерес проведение анализа изменений показателя молекул средней массы в зависимости от длительности воздействия экспериментальной гиперинсулинемии в динамике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа проводилась на базе биохимической лаборатории кафедры биохимии Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Материалом для исследования служили сыворотка крови и гомогенат нервной ткани. Лабораторные крысы были разделены на следующие группы: контрольная (интактная) группа, группа №1 – лабораторные животные, подверженные однократному воздействию инсулинового шока (1 раз в сутки, 1 сутки); группа № 2 – лабораторные крысы, подверженные двукратному воздействию инсулинового шока (1 раз в сутки, 2 суток; группа № 3 – лабораторные крысы, подверженные трехкратному воздействию инсулинового шока (1 раз в сутки, 3 суток). Крысам опытных групп подкожно вводили по 3,5 ед. инсулина. Наличие развития гипогликемической комы определяли появлением судорог, для купирования комы вводили внутривенно по 3,5 мл 20 % раствора глюкозы.

Уровень молекул средней массы определяли по методу Н. И. Габриэлян и др. [7].

Статистическая обработка полученных данных проведена с применением методов вариационной статистики с вычислением средних величин (M), стандартного отклонения (m), оценкой достоверности изменений с использованием t -критерия Стьюдента. За достоверную принималась разность средних значений при $p < 0,05$ [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования уровня МСМ в сыворотке крови лабораторных крыс (рис. 1).

Анализируя результаты, можно отметить, что в сыворотке крови лабораторных крыс группы № 1 при воздействии гиперинсулинемии уровень МСМ в отличие от интактной группы достоверно понижается в 2 раза при всех длинах волн регистрации.

В сыворотке крови лабораторных животных группы № 2 содержание МСМ достоверно ниже по сравнению с интактной группой в 3 раза при длинах волн регистрации $\lambda=275$ нм и $\lambda=280$ нм, а при $\lambda=254$ нм – в 2 раза.

На третьи сутки при воздействии на организм лабораторных крыс искусственно вызванной гиперинсулинемии уровень молекул средней массы в сыворотке крови достоверно повышается по сравнению с показателем опытной группы № 2 при всех длинах волн регистрации.

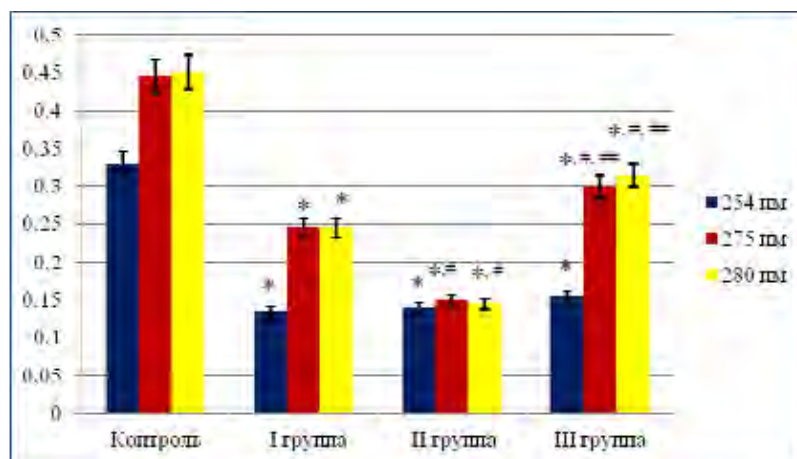


Рис. 1. Уровень молекул средней массы в сыворотке крови лабораторных крыс (е. о. п.) при воздействии гиперинсулинемии.

Примечание: * – достоверность различий показателя по сравнению с интактной группой при $p \leq 0,05$; # – достоверность различий показателя по сравнению с I опытной группой при $p \leq 0,05$; ## – достоверность различий показателя по сравнению с II опытной группой при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования содержания молекул средней массы в нервной ткани лабораторных крыс (рис. 2).

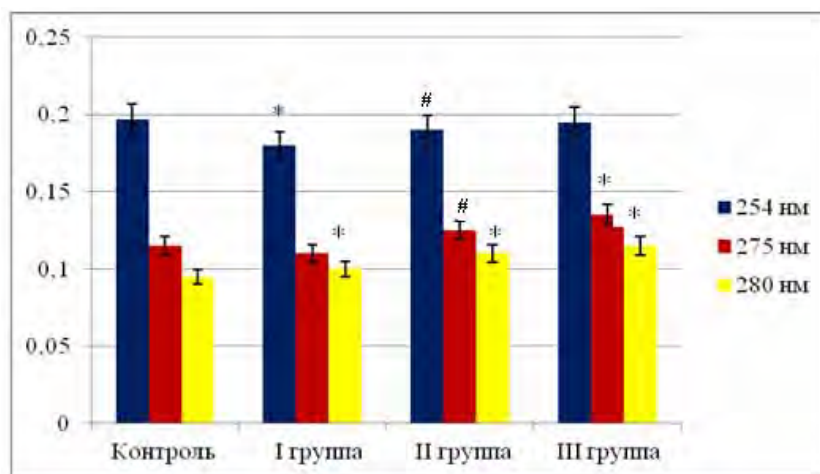


Рис. 2. Уровень содержания молекул средней массы в гомогенате нервной ткани лабораторных крыс (е. о. п.).

Примечание: * – достоверность различий показателя по сравнению с интактной группой при $p \leq 0,05$; # – достоверность различий показателя по сравнению с I опытной группой при $p \leq 0,05$.

Показано, что уровень МСМ в гомогенате нервной ткани лабораторных крыс опытной группы № 1 претерпевает изменения в сторону снижения (при $\lambda=254$ нм и $\lambda=275$ нм регистрации) по сравнению с интактной группой как достоверного характера, так и на уровне тенденции.

При повторном воздействии экспериментальной гиперинсулинемии на организм лабораторных животных выявлено достоверное повышение уровня МСМ в гомогенате нервной ткани опытной группы № 2 по сравнению с опытной группой № 1. Следует отметить, что при длинах волн регистрации $\lambda=275$ нм $\lambda=280$ нм данный показатель в гомогенате нервной ткани лабораторных животных группы № 2 превышает уровень интактной группы (при этом для $\lambda=280$ нм данная разница достигает достоверного уровня).

Из представленных данных следует, что содержание МСМ в гомогенате нервной ткани лабораторных животных опытной группы № 3 при длинах волн регистрации $\lambda=275$ нм, $\lambda=280$ нм достоверно повысилось на 15–17 % по сравнению с показателем интактной группы.

Воздействие экспериментальной гиперинсулинемии, обладающей стрессовым характером, приводит к определенному рода закономерным перестройкам в организме в качестве ответной реакции, возможно, и с привлечением данного рода соединений в обменные процессы с дальнейшей их трансформацией в различных метаболических звеньях [9]. Об этом свидетельствует снижение содержания МСМ в сыворотке крови лабораторных животных 1-й и 2-й опытных групп по сравнению с интактной.

Обращает на себя внимание и вызывает несомненный интерес изменение уровня МСМ в сыворотке крови лабораторных животных, подверженных экспериментальной гиперинсулинемии на третьи сутки эксперимента, что приводит к их увеличению в данной ткани. Анализируя литературные данные, можно предположить, что подобного рода повышение уровня МСМ в сыворотке крови, возможно, связано с восстановлением пула веществ, часть из которых, в представлении многочисленных авторов [10–13] обладает свойствами биорегуляторов [14], что вписывается в расширяющуюся концепцию о биорегуляторной роли МСМ в организме.

Анализируя изменения уровня МСМ в нервной ткани у лабораторных животных, подвергнутых экспериментальной гиперинсулинемии, можно предположить, что они связаны с их замедленной элиминацией, что также не исключает возможность проявления резистентности данной ткани к подобного рода воздействию [15, 16].

В целом, гиперинсулинемия как в крови, так и в нервной ткани приводит к достоверному (в отмеченном ранее ряде случаев) снижению уровня МСМ. При этом если в сыворотке крови снижение развивается в течение 1 и 2 воздействий и только между 2 и 3 начинается компенсация, то в нервной ткани компенсация наступает после 1-го.

Поскольку организм в принципе стремится компенсировать стрессорное воздействие гиперинсулинемии, то снижение уровня МСМ закономерно позволяет

указать, во-первых, на их участие в этой компенсации в целом, а, во-вторых, на расходный характер такого участия.

Вышеуказанное позволяет выдвинуть следующую гипотезу. Часть МСМ могут служить источником осмотически активных олигопептидов, колебания уровня которых компенсируют изменения осмотического давления крови, возникающие вследствие активного захвата глюкозы.

С этой точки зрения снижение уровня МСМ должно отражать работу механизма контроля осмотического давления крови [17]. Видимое приближение их содержания к показателю контрольной группы в течение опыта может быть объяснено как компенсаторное повышение уровня МСМ длительно стрессированным организмом в ожидании очередного инсулинового шока, то есть так называемая «опережающая» (предварительная) компенсация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено достоверное понижение уровня МСМ в сыворотке крови лабораторных крыс опытных в среднем на 50 % по сравнению с показателем интактной группы.
2. Показано достоверное повышение показателя МСМ лабораторных животных опытной группы № 1 в среднем на 6 % в гомогенате нервной ткани по сравнению с контрольной группой животных. Установлено достоверное понижение уровня МСМ лабораторных животных опытных групп № 2, 3 в среднем на 10 % в сравнении как с интактной группой, так и с опытной группой № 1 лабораторных животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Никольская В. А. Биохимический аспект рассмотрения молекул средней массы в организме / В. А. Никольская, Ю. Д. Данильченко, З. Н. Меметова // Таврический медико-биологический вестник – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 139–145.
2. Карякина Е. В. Молекулы средней массы как интегральный показатель метаболических нарушений / Е. В. Карякина, С. В. Белова // Клин. лаб. диаг. – 2004. – Вып. 3. – С. 4–8.
3. Зенков Н. К. Окислительный стресс: Биохимический и патофизиологический аспекты / Н. К. Зенков, В. З. Ланкин, Е. Б. Меньшикова – М.: МАИК, 2001. – 343 с.
4. Глухов М. М. Физиология человека в схемах и таблицах: Учебное пособие / М. М. Глухов, О. А. Козлитин, В. А. Шапошников и др. – СПб.: Лань, 2016. – 608 с.
5. Любимова З. В. Возрастная анатомия и физиология в 2 т. т.1 организм человека, его регуляторные и интегративные системы: Учебник для СПО / З. В. Любимова, А. А. Никитина. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 447 с.
6. Grimsrud P. A. Oxidative stress and covalent modification of protein with bioactive aldehydes / P. A. Grimsrud, H. Xie, T. J. Griffin, D. A. Bernlohr // The Journal of Biological Chemistry. – 2008. – 283 – P. 21837–21841.

7. Скрининговый метод определения средних молекул в биологических жидкостях. Метод. рекомендации / Н. И. Габриэлян, Э. Р. Левицкий, А. А. Дмитриев [и др.] – М., 1985. – 18 с.
8. Янцев А. В. Выбор статистических критериев / А. В. Янцев // учеб. пособие по биометрии для студентов биологов. – Симферополь, 2012. – 138 с.
9. Никольская В. А. Гиперинсулинемия, влияние на метаболические процессы в организме / В. А. Никольская, Н. А. Постольник, З. Н. Меметова // Международный научно-исследовательский журнал, серия «Биология. Химия». – 2013. – Т. 26 (65), № 1. – С. 139–145.
10. Davies K. J. Protein damage and degradation by oxygen radicals / K. J. Davies, and M. E. Delsignore // III. Modification of secondary and tertiary structure. J. Biol. Chem. – 1987 – 262. – P. 9908-9913.
11. Лобанов С. А. Особенности процессов окислительной модификации белков и содержание молекул средней массы при длительной гиподинамии / С. А. Лобанов, Н. С. Черепанов, И. Х. Султанов // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2011. – № 5. – С. 373–382.
12. Промыслов В. Ш. Роль липидов фракции средних молекул в характеристике патологического процесса / В. Ш. Промыслов, Л. И. Левченко, М. Л. Демчук [и др.] // Вопр. мед. химии. – 1989. – Вып. 4. – С. 105–107.
13. Шитов А. Ю. Молекулы средней массы как показатель «гипербарической интоксикации» у водолазов / А. Ю. Шитов // Альманах клинической медицины. – 2013. – № 28. – С. 48–52.
14. Walters D. M. Oxidative Stress and Antioxidants in the Pathogenesis of Pulmonary Fibrosis: A Potential Role for Nrf2 / D. M. Walters, H. Y. Cho, S. R. Kleebarger // Antioxidants & redox signaling. – 2008. – 10 (2). – P. 321–32.
15. Андреева Ю. В. Гиперинсулинемия и инсулиновая резистентность / Ю. В. Андреева // Вестник новых медицинских технологий – 2012 – Т. 19, № 2 – С. 61.
16. Гаврилов В. Б. Определение тирозин- и триптофансодержащих пептидов в плазме крови по поглощению в УФ-области спектра / В. Б. Гаврилов, Н. Ф. Лобко, С. В. Конев // Клин. лаб. диагн. – 2004. – Вып. 3. – С. 12–16.
17. Соколовский В. В. Тиоловые антиоксиданты в молекулярных механизмах неспецифической реакции организма на экстремальное воздействие / В. В. Соколовский // Вопр. мед. химии. – 1988. – № 34 (6). – С. 2–11.

CHANGES IN THE LEVEL OF THE MIDDLE WEIGHT MOLECULES IN THE BLOOD SERUM AND HOMOGENATE OF THE NERVOUS TISSUE OF LABORATORY ANIMALS WITH EXPERIMENTAL HYPERINSULINEMIA IMPACT

Nikolskaja V. A., Ljutoslav I. S.

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

This article reflects the influence of hyperinsulinemic state on the body and the importance of its studying in diagnosing of biochemical changes in the acquired metabolic disorder. The indicator of average mass molecules characterizing the level of exposure of excessive doses of insulin to the blood and nervous tissue of laboratory animals is analyzed. It was found that experimental hyperinsulinemia causes a metabolic rearrangement in the animal tissues studied, which leads to a significant change in the level of molecules of the average mass of different degrees.

The study used the following biological material: blood serum and a homogenate of nerve tissue. Laboratory animals were distributed four groups: control (intact) group; group 1 – laboratory animals exposed to a single exposure to insulin shock (1 time per

day, 1 day); group 2 – laboratory rats exposed to twice exposure to insulin shock (1 time per day, 2 days); group 3 – laboratory rats exposed to triple exposure to insulin shock (1 time per day, 3 days).

The rats of test groups were injected subcutaneously with 3,5 units of insulin. The presence of development of hypoglycemic coma was determined by the appearance of convulsions, for cupping the coma, 3.5 ml of a 20 % solution of glucose were injected intraperitoneally.

In the experiment, there was a decrease of MWM concentration in the blood serum of laboratory animals of the 1st and 2nd experimental groups in strains with intact. It probably associated with the stressful nature of hyperinsulinemia and compensates for changes in the body by involving this kind of compounds in metabolic processes with their further transformation in various metabolic units.

On the third day of the experiment, an increase in average weight molecules in this tissue of laboratory animals was detected. Based on data from literature sources, one of the hypotheses of a registered change can be put forward as follows: this kind of increase in the level of average mass molecules in blood serum is possibly associated with the restoration of the pool of substances, some of which, in the view of numerous authors, have the properties of bioregulators that fit in. In the expanding concept of the bioregulatory role of MWM in the body.

Analysis of the effect of experimental hyperinsulinemia on the organism of laboratory animals leads to a change in the level of MWM in the nervous tissue. Nevertheless, it is shown that this tissue shows greater resistance to this kind of action, in comparison with blood serum.

In general, hyperinsulinemia, both in the blood and in the nervous tissue, leads to a significant (in a previously noted number of cases) reduction in the level of MWM. In this case, if in the blood serum the decline develops within 1 and 2 exposures, and only between 2 and 3, compensation begins, then in the neural tissue, compensation occurs after the 1st.

Since the body in principle seeks to compensate for the stressful effects of hyperinsulinemia, the reduction in the level of MWM naturally allows one to point out that, first, their participation in this compensation as a whole, and secondly, the expense nature of such participation.

The foregoing allows us to propose the following hypothesis. A portion of MWM can serve as a source of osmotically active oligopeptides whose level fluctuations compensate for changes in osmotic blood pressure resulting from active glucose uptake.

From this point of view, a decrease in the level of MWM should reflect the work of the osmotic blood pressure monitoring mechanism. The apparent approximation of their content to the control group during the experiment can be explained as a compensatory increase in the level of MWM by a long-strained organism in anticipation of another insulin shock, that is, the so-called "anticipatory" (preliminary) compensation.

Keywords: hyperinsulinemia, middle-weight molecules (MWM), blood serum, nerve tissue homogenate.

References

1. Nikolskaya V., Danilchenko U., Memetova Z. Biochemical aspects of the consideration of the role of high molecular mass in the body, *Scientific Notes of Taurida V. I. Vernadsky National University, Series: Biology, chemistry*, **26 (65)**, **1**, 139 (2013).
2. Karyakina E. V., Belova S. V. Average Weight Molecules as an Integral Marker of Metabolic Disorder, *Clin. Laborat. Diagn.*, **3**, 4 (2004).
3. Zenkov N. K., Lankin V. Z., Menshchikova E. B. *Oxidative Stress: biochemical and pathophysiological Aspects*, 343 (M.: MAIK, 2001).
4. Gluhov M. M., Kozlitsin O. A., Shaposhnikov V. A. i dr. *Fiziologija cheloveka v shemah i tablicah: Uchebnoe posobie*, 608 (SPb.: Lan', 2016).
5. Ljubimova Z. V., Nikitina A. A. *Vozrastnaja anatomija i fiziologija v 2 t. t.1 organizm cheloveka, ego reguljatornye i integrativnye sistemy: Uchebnik dlja SPO*, 447 (Ljubercy: Jurajt, 2016).
6. Grimsrud P. A., Xie H., Griffin T. J., Bernlohr D. A. Oxidative stress and covalent modification of protein with bioactive aldehydes, *The Journal of Biological Chemistry*, **283**, 21837 (2008).
7. Gabrielyan N. I., Levitsky E. R., Dmitriev A. A. [et al.], *Screening Method for Average Molecules Determination in Biological Liquids: Methodological Recommendations*, 18 (M., 1985).
8. Jancev A. V. *Vybor statisticheskikh kriteriev, ucheb. posobie po biometrii dlja studentov biologov. – Simferopol'*, 138 (2012)
9. Nikolskaya V., Danilchenko U., Memetova Z. Biochemical aspects of the consideration of the role of high molecular mass in the body, *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **26 (65)**, **1**, 139 (2013).
10. Davies K. J., Delsignore M. E. Protein damage and degradation by oxygen radicals, III. Modification of secondary and tertiary structure, *J. Biol. Chem.*, **262**, 9908 (1987).
11. Lobanov S. A., Cherepanov N. S., Sultanov I. K. Peculiarities of Protein Oxidative Modification Processes and Average Weight Molecules Content Under Long-Term Hypodynamia, *Herald of Chelyabinsk State Pedagogical University*, **5**, 373 (2011).
12. Promyslov V. Sh., Levchenko L. I., Demchuk M. L. [et al.] The Lipids Role of Average Molecules Fraction in a Pathologic Process Characteristics, *Questions of Medical Chemistry*, **4**, 105 (1989).
13. Shitov A. Yu. Molecules of middle mass as an indicator of divers' «Hyperbaric intoxication», *Al'manah kliniceskoj mediciny*, **28**, 48 (2013).
14. Walters D. M., Cho H. Y., Kleeberger S. R. Oxidative Stress and Antioxidants in the Pathogenesis of Pulmonary Fibrosis: A Potential Role for Nrf2, *Antioxidants & redox signaling*, **10 (2)**, 321 (2008).
15. Andreeva Yu. V. Hyperinsulinemia and insulin resistance, *Journal of New Technologies*, **19**, **2**, 61 (2012).
16. Gavrilov V. B., Lobko N. F., Konev S. V. Determination of Tyrosine and Tryptophan-Containing Peptides in the Blood Plasm by the Absorbtion of Ultraviolet Spectrum, *Clin. Laborat. Diagn.*, **3**, 12 (2004).
17. Sokolovsky V. V. Thiolic antioxidants in molecular mechanisms of non-specific response of the body on extreme effect, *Voprosy meditsinskoj khimii*, **34 (6)**, 2 (1988).

УДК 635.051.7:631.529(477.75)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИМОРСКОГО ПАРКА НИКИТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Герасимчук В. Н., Панельбу В. В.

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

Проведен анализ коллекции лиственных древесных растений Приморского парка арборетума Никитского ботанического сада. На основании проведенных инвентаризационных работ определено общее количество таксонов лиственных древесных растений, их распределение по семействам, флоро-географическим областям и уровню устойчивости к летней засухе. В настоящее время в рамках его изначальной структуры на территории площадью 5,58 га сохраняется уникальная теплолюбивая дендрофлора, насчитывающая 127 таксонов лиственных деревьев и кустарников, относящихся к 45 семействам, из них 36 – редкие и малораспространенные виды и формы. Оценка состояния и особенностей культивирования декоративных растений в условиях Приморского парка свидетельствуют о возможности эффективного использования засухоустойчивых видов лиственных деревьев и кустарников в садово-парковом строительстве и озеленении населенных пунктов на ЮБК. Сделан вывод, что разработка методов и формирование плана по интродукции лиственных деревьев и кустарников дендрологической коллекции арборетума должны основываться на комплексной оценке биоэкологических характеристик отдельных таксонов и выявлении лимитирующих факторов, оказывающих негативное влияние на их рост и развитие в условиях нижнего пояса ЮБК.

Ключевые слова: Приморский парк, Никитский ботанический сад, лиственные деревья и кустарники, интродукция, лимитирующие факторы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема изучения и сохранения парков Южного берега Крыма первой половины XX в. особенно актуальна, т. к. они, наряду с более ранними объектами садово-паркового строительства, являются частью культурного наследия России [1]. Приморский парк, входящий в структуру арборетума Никитского ботанического сада (НБС), был заложен в 1912 г. к 100-летию Сада и 100-летней годовщине победы России в Отечественной войне. Как писал накануне закладки парка директор Императорского Никитского сада М. Ф. Щербаков, «Завтра, 23-го сентября в 12 ч. дня, в присутствии Его Превосходительства, Господина Главноуправляющего Землеустройством и Земледелием, Статс-секретаря Александра Васильевича Кривошеина будет освящен новый приморский участок Сада, а потому прошу всех служащих пожаловать к указанному времени и

месту в полной парадной форме» [2]. Именно этот день (по старому стилю) необходимо считать официальной датой основания Приморского парка.

Парк в прибрежной зоне был заложен в связи с дальнейшим увеличением дендрологической коллекции и потребностью использования более защищенных от ветров и холодных воздушных масс территорий для пополнения имеющихся коллекций более теплолюбивыми видами и формами растений, а также необходимостью создания участка, где растения были бы размещены по определенному ботанико-географическому принципу, однако поставленные задачи полностью выполнить не удалось [3, 1, 4].

Парк заложен в самой южной части Сада, прилегающей непосредственно к берегу моря, на территории, защищенной мысом Мартьян от северных и северо-восточных ветров. Благодаря этому в нем могут произрастать южные растения (пальмы, араукарии, цитрусы, драцены, агавы, казуарины, вечнозеленые акации и др.), плохо переносящие зимние холода в условиях Верхнего и Нижнего парков, где они обычно содержались в ящиках, кадках и на зиму убирались в защищенные помещения. Изначально планировалось разбить парк на площади 3-х десятин (например, всего под парками Верхним, Нижним и Приморским – 14.750 десятин [5], однако декоративные растения были высажены лишь на одной трети этой территории.

В период с 1912 по 1914 гг. было высажено около 200 видов, сортов и форм лиственных древесных растений, полученных из Петербургского ботанического сада, Сухуми, Батуми и некоторых иностранных фирм. Среди них ведущее место занимали цитрусовые (11 видов и форм), пальмы (10 видов и форм), бамбуки (18 видов и форм), эвкалипты (18 видов и форм), олеандры (20 сортов), жасмины (7 видов и форм), смолосемянники (9 видов и форм). В первые годы эти растения хорошо развивались, но в суровую зиму 1918–1919 гг. наиболее теплолюбивые из них погибли.

В 1915–1917 гг. было высажено 109 видов и форм, среди них акации (13 видов), казуарины (3 вида). В периоды с 1925 по 1940 гг. и с 1951 по 1954 гг. было высажено 97 видов и форм, среди них: барбарисы (10 видов), цистусы (9 видов), кизильники (16 видов), цератонии, шуазии, шинусы. В период с 1970 по 2004 гг. было высажено 29 видов и форм, среди которых были птелеи, дафнифиллумы, камптотеки, шуазии и др. [6].

Всего за 105 лет существования Приморского парка в нем было испытано около 500 таксонов лиственных древесных растений. Особую ценность парка представляет его дендрофлора, состоящая преимущественно из теплолюбивых интродуцентов Восточноазиатской и Средиземноморской флористических областей [7]. В настоящее время она насчитывает 127 таксонов лиственных древесных растений, из них редких и малораспространенных – 36 видов и форм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дендрологическую инвентаризацию лиственных растений на территории Приморского парка проводили в 2017 г., используя общепринятые методы. В процессе проведения обследования определяли таксономический состав лиственных

деревьев и кустарников, в т. ч. древесных однодольных и бамбуков. Критериями оценки эколого-дендрологических показателей деревьев были: высота и диаметр ствола, характеристики жизненного состояния. Высоту растений измеряли с помощью высотомера; диаметр ствола на высоте 1,3 м – с помощью мерной вилки. У многоствольных деревьев измеряли диаметр каждого ствола на высоте 1,3 м.

Оценка общего жизненного состояния растений осуществлялась по методике Г. В. Куликова [8] с использованием 5-балльной шкалы: 5 баллов (отличное) – растение не повреждено вредителями и болезнями, не имеет сухих веток, сохраняет естественную для своего вида форму ствола и кроны, ежегодно цветет и плодоносит; 4 балла (хорошее) – растение имеет сухие ветви, повреждено вредителями; 3 балла (удовлетворительное) – растение имеет сухие ветви, цветет, но не плодоносит, повреждено вредителями и болезнями, не имеет естественной формы ствола и кроны; 2 балла (плохое) – растение имеет сухие ветви, повреждено вредителями и болезнями, не имеет естественной формы ствола и кроны; 1 балл (отмирающее) – растение, усыхающее в надземной части.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приморский парк имеет сравнительно небольшие размеры, в настоящее время его площадь составляет 5,58 га, на которых расположено 36 куртин (№ 141–176). В формировании и устройстве Приморского парка наиболее активное участие принимали главный садовник Ф. К. Калайда и его помощник, в прошлом выпускник Никитского училища Ф. Д. Гуф [4]. Как и другие парки Арборетума, Приморский парк заложен по ландшафтно-экологическому принципу.

Коллекционные насаждения парка размещены на довольно крутом склоне южной и юго-восточной экспозиции. В целом территорию парка условно подразделяют на 2 части: верхнюю и нижнюю. Верхняя часть включает овальный водоем у скалы, скамью у консольной площадки, металлический трельяж, далее пальмовую аллею и куртины, прилегающие к небольшому круглому водоему. Композиционным центром верхней части является круглый водоем с пальмарием. Недалеко расположена зона отдыха со скамьями и фонтаном-камнем с родниковой водой [9].

В настоящее время на территории парка произрастает 127 таксонов лиственных древесных растений, относящихся к 45 семействам. Наиболее широко представлены следующие семейства: *Oleaceae* Hoffmanns. & Link (16 видов и садовых форм), *Rosaceae* Juss. (15 видов и садовых форм), *Arecaceae* Bercht. & J.Presl (8 видов и садовых форм). Наибольшее число видов отмечено для родов *Buddleja* L. (4 вида), *Jasminum* L. (5 видов), *Osmanthus* Lour. (2 вида и 1 гибрид), *Pittosporum* Banks ex Sol. (3 вида), *Trachycarpus* H.Wendl. (3 вида и 1 садовая форма), *Viburnum* L. (4 вида). По флоро-географическому происхождению изучаемые таксоны лиственных древесных растений относятся к 5 флористическим областям Земли. Доля представителей видов растений по флоро-географическим областям характеризуется следующим распределением: Восточноазиатская (46 таксонов, или 36,22 %), Средиземноморская (38 таксонов, или 29,92 %), Североамериканская (15 таксонов, или 11,81 %), Евросибирская (13 таксонов, или 10,24 %),

Южноамериканская (6 таксонов, или 4,72 %). К гибридам относится 5 таксонов (3,94 %), садовым формам – 4 таксона (3,15 %). На территории парка произрастает 8 видов лиственных деревьев и кустарников, принадлежащих к аборигенной крымской флоре. Из них 2 вида (*Pistacia nutica* Fisch. et Mey., *Arbutus andrachne* L.) занесено в Красную книгу РФ и РК. Особое значение в формировании структуры Приморского парка имеет включение в его территорию участков коренного реликтового гемиксерофильного субсредиземноморского высокоможжевелового леса с сообществами земляничника мелкоплодного. Из интродуцированных 119 видов, гибридов и садовых форм 31 достаточно часто встречается в парках Южного берега Крыма (ЮБК), 36 встречается крайне редко или полностью отсутствует.

К декоративным лиственным деревьям и кустарникам, произрастающим не только в Приморском парке НБС, но и в других парках ЮБК единично, относятся: *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem., *Cercocarpus betuloides* Nutt., *Cinnamomum camphora* (L.) Presl, *Viburnum utile* Hemsl., *Ehretia acuminata* R.Br., *Cytisus sessilifolius* L., *Pittosporum xylocarpus* Hu et Wang, *Laurus nobilis* 'Salicifolia', *Elaeagnus x reflexa* (Morr. et Decne.), *Cotoneaster racemiflorus* (Desf.) K. Koch, *Cytisus battandieri* Maire., *Garrya wrightii* Torr.; древесные однодольные: *Trachycarpus takil* Bessari, *Trachycarpus martianus* (Wall. ex Mart.) H.Wendl., *Trachycarpus fortune* 'Wagnerianus', *Dasylyrion wheeleri* S. Wats., *Yucca faxoniana* Sarg.; бамбуки: *Pleioblastus simonii* (Kiv.) Nakai.

В процессе проведения исследований нами были выявлены лиственные древесные интродуценты, не произрастающие за пределами Приморского парка НБС на территории ЮБК: *Magnolia grandiflora* var. *hartwissiana* Zabel. (1 экз.), *Choisya ternata* Н.В.К. (1 экз.), *Andrachne colchica* (L.) Fisch., *Caesalpinia gilliesii* Wall. (2 экз.), *Buddleja tibetica* W.W.Sm. (1 экз.), *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera, *Colletia spinosissima* J.F.Gmel. (1 экз.), *Jasminum floridum* Bunge (2 экз.), *Jasminum diversifolium* Kobuski (1 экз.), *Vitex negundo* L. (1 экз.), *Pistacia lentiscus* L., *Bauhinia galpinii* N.E. Br. (1 экз.), *Indigofera potanini* Craib, *Lonicera henryi* Hemsl. (1 экз.), *Mahonia swaseyi* (Buckl.) Fedde (2 экз.), *Olea africana* Mill. (1 экз.), *Lycium afrum* L. (1 экз.), *Cestrum parqui* L'Her (1 экз.).

В настоящее время на территории Приморского парка произрастает 11 видов лиственных деревьев и кустарников, у которых проявляется тенденция к натурализации – формирование самосева: *Robinia pseudoacacia* L., *Sambucus nigra* L., *Sorbus domestica* L., *Fraxinus ornus* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Laburnum anagyroides* Medic., *Mahonia aquifolium* (Pursch) Nutt., *Daphne laureola* L., *Ficus carica* L., *Vupleurum fruticosum* L., *Maclura pomifera* (Raf.) Schneid.

Из-за ограниченности площади открытых пространств в парке мало, они представлены в основном фрагментами газонов возле малого круглого водоема. К полуоткрытым относится пальмовая аллея, закрытым – бамбуковые рощи листоколосника сизо-зеленого (*Phyllostachys viridi-glaucescens* (Carr.) Riv.), роща листоколосника бамбукового (*Phyllostachys bambusoides* S.et Z.), роща земляничника мелкоплодного (*Arbutus andrachne* L.) [9].

Наиболее уникальным объектом является мемориальная пальмовая аллея (*Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl.), высаженная в момент закладки

Приморского парка. Протяженность – 80 м, она расположена в районе куртин № 145, 147. Изначально аллея состояла из 14 пальм 22-летнего возраста. Сейчас она включает 37 пальм, жизненное состояние которых варьирует от 3 до 4 балла.

Одним из наиболее декоративных и уникальных по возрастным и биометрическим показателям объектов Приморского парка является магнолия крупноцветковая, форма Гартвиса (*Magnolia grandiflora* var. *hartwissiana* Zabel.) на куртине № 153, посаженная на церемонии торжественного открытия Приморского парка 23 сентября (по старому стилю) 1912 г. главным управляющим землеустройством и земледелием Российской империи А. В. Кривошеиным. В период проведения наблюдений данное растение имело следующие биометрические и жизненные характеристики: высота – 17 м, диаметры стволов – 27; 4; 81 см, оценка жизненного состояния – 5 баллов.

Сегодня в парке имеются растения, высаженные в период его закладки. На куртинах № 141, 142, 143 произрастают экземпляры *Arbutus andrachne* L., *Quercus ilex* L., *Arbutus unedo* L. посадки 1916 г.; на пальмовой аллее (куртины № 145, 147) – 14 экземпляров *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl. посадки 1912 г.; групповая посадка из 20 экземпляров *Chamaerops humilis* L. 1914 г. на куртинах № 148, 149, 155; на куртине № 153 произрастают наиболее крупные и великовозрастные на ЮБК экземпляры *Osmanthus heterophyllus* (G.Don) P.S.Green и *Osmanthus fragrans* Lour. посадки 1914 г.; на куртине № 164 произрастает редкая *Pistacia lentiscus* L. посадки 1916 г.; на куртине № 166 примечательна группа из 4 экземпляров *Feijoa sellowiana* (Berg) Burdet. посадки 1914 г.; на куртине № 168 – 4 экземпляра *Pittosporum tobira* Ait. посадки 1913 г.

В Приморском парке сохраняются также великовозрастные деревья местной флоры: фисташка туполистная (*Pistacia mutica* Fisch. et Mey.), дуб черешчатый (*Quercus pubescens* Willd.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), земляничник мелкоплодный (*Arbutus andrachne* L.). Некоторые из них имеют значительные биометрические размеры. Например, на куртине № 176 произрастает ясень обыкновенный высотой 13 метров, диаметром ствола 130 см, жизненного состояния 3 балла. На куртине № 160 произрастает дуб пушистый высотой 12 метров, диаметром ствола 100 см, жизненного состояния 3 балла; на куртине № 175 произрастает фисташка туполистная высотой 6 метров, диаметрами стволов 25; 30; 32; 45 см, жизненного состояния 4 балла; на куртине № 169 произрастает земляничник мелкоплодный высотой 7 метров, диаметрами стволов 20; 27; 37; 34 см, жизненного состояния 4 балла.

Пальмарий является одной из центральных экспозиций Приморского парка Арборетума НБС. Данный ландшафтный элемент подчеркивает южную направленность парка. Из старых посадок пальм до настоящего времени в верхней части парка произрастают: трахикарпус Форчуна (*Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl.), трахикарпус такильский (*Trachycarpus takil* Bessari), трахикарпус Мартиуса (*Trachycarpus martianus* (Wall. ex Mart.) H.Wendl.), хамеропс приземистый (*Chamaerops humilis* L.), сабаль малый (*Sabal minor* (Jacq.) Pers.).

После реконструкция пальмария весной 2016 г. расширилось его видовое разнообразие. Коллекция пальм пополнилась трахикарпусом Форчуна ‘Вагнера’

(*Trachycarpus fortunei* 'Wagnerianus') и фиником канарским (*Phoenix canariensis* Chabaud). Для усиления экзотичности данной территории были также высажены дазилирион Виллера (*Dasyliirion wheeleri* S. Wats) и юкка Факсона (*Yucca faxoniana* Sarg.).

Известно, что на Южном берегу Крыма осадки распределяются крайне неравномерно как на протяжении года, так и территориально, их годовая сумма составляет в среднем 550 мм. В отношении засухоустойчивости все интродуценты Приморского парка нами были отнесены к четырем группам по устойчивости к летней засухе (июль – сентябрь), типичной для субаридного варианта средиземноморского климата [3, 10]:

Первая группа – лиственные древесные растения, засухоустойчивые в нижнем поясе ЮБК; переносят засуху без видимых повреждений и могут развиваться без искусственного орошения в летний период. К ним были отнесены следующие таксоны Приморского парка: *Cercis siliquastrum* L., *Colletia spinosissima* J.F.Gmel., *Pistacia lentiscus* L., *Mahonia swaseyi* (Buckl.) Fedde, *Garrya wrightii* Torr., *Olea africana* Mill., *Yucca aloifolia* L., *Yucca faxoniana* Sarg.

Вторая группа – лиственные древесные растения, засухоустойчивые в нижнем поясе ЮБК; необходим полив в засушливый период; эти виды устойчивы к воздушной засухе и требовательны к почвенной влажности: *Arbutus unedo* L., *Laurus nobilis* L., *Quercus ilex* L., *Rhamnus alaternus* L., *Viburnum tinus* L., *Pittosporum tobira* Ait., *Hibiscus syriacus* L., *Danae racemosa* (L.) Moench, *Pittosporum heterophyllum* Franch., *Caesalpinia gilliesii* Wall., *Myrtus communis* L., *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera, *Vitex negundo* L., *Washingtonia filifera* (Linden)Wendl., *Phoenix canariensis* Chabaud.

Третья группа – лиственные древесные растения, требовательные к почвенной влажности на ЮБК, но относительно стойкие к воздушной засухе; необходим систематический полив в течение всего летнего периода: *Nerium oleander* L., *Magnolia grandiflora* var. *hartwissiana* Zabel., *Osmanthus heterophyllus* (G.Don) P.S.Green, *Osmanthus fragrans* Lour., *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem., *Buddleja tibetica* W.W.Sm., *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., *Phyllostachys bambusoides* Sieb. Et Zucc., *Phyllostachys viridi-glaucescens* (Carr.) Riv., *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H.Wendl., *Sabal minor* (Jacq.) Pers.

Четвертая группа – лиственные древесные растения незасухоустойчивые, страдающие даже в условиях постоянного полива как от воздушной засухи, так и от дефицита влажности почвы: *Cestrum parqui* L'Her.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приморский парк Арборетума НБС-ННЦ был заложен в 1912 г. и в настоящее время насчитывает 127 таксонов лиственных древесных растений, из них редких и малораспространенных – 36 видов и форм. Парк включает 36 куртин общей площадью 5,58 га.
2. В Приморском парке произрастают лиственные древесные таксоны, высаженные в первые годы его основания. К ним следует отнести: *Magnolia grandiflora* var. *hartwissiana* Zabel. (посадка 1912 г.) – редкий таксон,

Chamaerops humilis L. (посадка 1914 г.), *Osmanthus heterophyllus* (G.Don) P.S.Green и *Osmanthus fragrans* Lour. (посадка 1914 г.); *Feijoa sellowiana* (Berg) Burret. (посадка 1914 г.); *Pittosporum tobira* Ait. (посадка 1913 г.), *Pistacia lentiscus* L. (посадка 1916 г.) – редкий таксон. Также к редким и малораспространенным листовным древесным растениям следует отнести следующие: *Cestrum parqui* L'Her., *Olea africana* Mill., *Mahonia swaseyi* (Buckl.) Fedde, *Buddleja tibetica* W.W.Sm., *Caesalpinia gilliesii* Wall., *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera и некоторые другие.

3. Коллекционные насаждения парка размещены на довольно крутом склоне южной и юго-восточной экспозиции с высокой солнечной инсоляцией. Сильно каменистые почвы быстро прогреваются и пересыхают. Древесные таксоны, относящиеся к типичным мезофитам, представлены единично в насаждениях Приморского парка и произрастают вдоль ручья.
4. В условиях ЮБК, и в частности Приморского парка НБС, интродукционный приоритет имеют растения, проявляющие невысокую требовательность к влагообеспечению и плодородию почвы. В настоящее время более высокие параметры жизненного состояния имеют листовные древесные растения из Средиземноморской флоро-географической области. Реконструкция зеленых насаждений Приморского парка должна идти по пути сохранения реликтовой растительности на территории ООПТ, интродукции и восстановления единичных теплолюбивых экзотов парка совместно с регулярным агротехническим уходом (полив, подкормка).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 14-50-00079

Список литературы

1. Зыкова В. К. Дендрофлора Приморского парка Никитского ботанического сада / Зыкова В. К., Улейская Л. И., Герасимчук В. Н., Харченко А. Л. // Материалы VI Международной научной конференции «Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках», 27–30 мая, Ялта, 2014. – С. 36.
2. Архив Никитского ботанического сада. Дело № 585.
3. Каталог дендрологической коллекции арборетума ГНБС. / Галушко Р. В., Захаренко Г. С., Кузнецова В. М. и др. – Ялта, 1993. – 102 с.
4. Крюкова И. В. Никитский ботанический сад. История и судьбы. / Крюкова И. В. – Симферополь: Н. Орианда, 2011. – 403 с.
5. Архив Никитского ботанического сада. Дело № 616.
6. Зыкова В. К. Становление дендрологических коллекций Приморского парка Никитского ботанического сада, его современное состояние и перспективы реконструкции / Зыкова В. К., Улейская Л. И., Коба В. П., Герасимчук В. Н., Харченко А. Л., Спотарь Е. Н. // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць, Львів, 2014. – С. 64–70.
7. Плугатарь Ю. В. Дендрологическая коллекция арборетума ГБУ РК «НБС-ННЦ». Ю. В. Плугатарь, В. П. Коба, В. Н. Герасимчук, В. В. Пательбу / Плугатарь Ю. В., Коба В. П. // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян», выпуск 6. – Ялта: ГБУ РК «НБС-ННЦ», 2015. – С. 20–94.
8. Прокофьева Е. А. Некоторые аспекты эколого-биологического состояния деревьев Алушкинского парка / Прокофьева Е. А. // Современные научные исследования в садоводстве. – 2000. – Ч. 1. – С. 109–111.

9. Улейская Л. И. Оценка современного состояния Приморского парка Арборетума Никитского ботанического сада / Улейская Л. И., Головнев И. И., Плугатарь С. А., Герасимчук В. Н., Харченко А. Л., Головнева Е. Е. // Бюллетень Гос. Никит. ботан. сада. – 2014. – выпуск 111. – С. 26–38.
10. Кормилицын А. М. Древесные растения арборетума Никитского ботанического сада / Кормилицын А. М., Голубева И. В. – Ялта, 1977. – 47 с.

THE STATE ESTIMATION AND AN INVENTORY ANALYSIS OF FOLIAR PLANTINGS IN THE PRIMORSKY PARK OF THE NIKITSKY BOTANICAL GARDENS

Plugatar Yu. V., Koba V. P., Gerasimchuk V. N., Papelbu V. V.

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

The analysis of the foliar arboreal plants in the Primorsky Park of the Nikitsky Botanical Gardens has been done. On the base of making of an inventory work it was defined the total amount of foliar trees taxons, their distribution on families, flora-geographical regions and a summer drought stability level. For the time being, within its original structure, a unique heat-loving dendroflora is located in the area about 5.58 hectares, numbering 127 taxons of foliar trees and shrubs belonging to 45 families, of which 36 ones are rare and less common species and forms. The estimation of state and cultivation peculiarities of the ornamental plants in the conditions of Primorsky Park testifies about the ability to use effectively the drought-resistant foliar species in the gardening and greening of the communities in the Southern Coast of the Crimea. To sum it up, working out the methods and planning the reintroduction of foliar plants from the Arboretum dendrology collection have to be based on the complex estimation of the bioecological characteristics of particular taxons and discovery of the limitative factors, which have a negative influence on their growth and development in the conditions of the lower tier of the Southern Coast of the Crimea.

Keywords: Primorsky Park, Nikitsky Botanical Gardens, foliar trees and shrubs, introduction, taxon, limitative factors.

References

1. Zykova V. K., Uleyskaya L. I., Gerasimchuk V. N., Kharchenko A. L. *The materials of the VI International Scientific Conference of Landscape Architecture in the Botanical Gardens and Dendroparks*, 36. (May 27-30, Yalta, 2014).
2. Archive of the Nikitsky Botanical Gardens. File № 585.
3. Galushko R. V., Zakharenko G. S., Kuznetsova V. M. and etc. *Catalogue of dendrological collection of SNBG*, 102. (Yalta, 1993).
4. Kryukova I. V. *The Nikitsky Botanical Gardens. The history and destiny*, 403. (Simferopol, 2011).
5. Archive of the Nikitsky Botanical Gardens. File № 616.

6. Zykova V. K., Uleyskaya L. I., Koba V. P., Gerasimchuk V. N., Kharchenko A. L., Spotar Ye. N. Formation of dendrological collections in Primorsky Park of Nikitsky Botanical Gardens, its modern state and perspectives for the reconstruction, *Scientific Bulletin of UNFU*, 64 (Lviv, 2014).
7. Plugatar Yu. V., Koba V. P., Gerasimchuk V. N., and Papelbu V. V. The dendrological collection of Arboretum of the Nikitsky Botanical Gardens, *Scientific Notes of the "Cape Martyan" Nature Reserve*, 6, 20 (Yalta, 2015).
8. Prokofieva E. A. The some aspects of ecological and biological state of the Alupkinsky Park trees, *The modern scientific researches in gardening*, 1, 109 (2000).
9. Uleyskaya L. I., Golovnev I. I., Plugatar S. A., Gerasimchuk V. N., Kharchenko A. L., Golovneva Ye. E. Modern evaluation of Primorsky Park of Arboretum in Nikitsky Botanical Gardens and propositions for its reconstruction, *Bull. of the Nikitsky Botanical Gardens*, 111, 26 (2014).
10. Kormilitsyn A. M., Golubeva I. V. *The woody plants of Arboretum of the Nikitsky Botanical Gardens. Yalta*, 47 (1977).

УДК 582.475:57.017(477.75)

БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВИДОВ РОДА *CEDRUS* TREW АРБОРЕТУМА НИКИТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Панельбу В. В., Герасимчук В. Н.

*Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки
«Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта,
Республика Крым, Россия
E-mail: Serb_84@mail.ru*

Рассмотрены вопросы интродукции видов рода *Cedrus* Trew. На примере растений Нижнего парка арборетума Никитского ботанического сада дана характеристика дендрометрических показателей и уровня жизненного состояния видов рода *Cedrus* Trew., используемых в садово-парковом строительстве и озеленении на ЮБК. На основе проведения инвентаризационных работ установлено, что в настоящее время в арборетуме НБС произрастает 11 видовых и внутривидовых таксонов рода *Cedrus* Trew. Деревья *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. характеризуются повышенной интенсивностью роста и достаточно высоким уровнем жизненного состояния и формируют основное дендрологическое ядро коллекционных насаждений парка, при этом они проявляют наиболее высокие показатели жизненного состояния. По требовательности к почвенной влаге представителей рода *Cedrus* Trew. выделены в две группы: первая включает засухоустойчивые растения, которые в условиях ЮБК способны произрастать без искусственного орошения в летний период; вторая – растения, относительно устойчивые к действию дефицита почвенной влаги, нуждающиеся в поливе в засушливые периоды. Общая оценка состояния и особенностей культивирования кедра в условиях арборетума свидетельствуют о необходимости дальнейшего расширения использования представителей рода *Cedrus* Trew. в садово-парковом строительстве и озеленении населенных пунктов на юге нашей страны.

Ключевые слова: род *Cedrus* Trew., арборетум, интродукция, дендрометрия, жизненное состояние.

ВВЕДЕНИЕ

За более чем 200-летнюю историю развития Никитский ботанический сад (НБС) внес существенный вклад в интродукцию хвойных древесных растений, многие из которых в последующем получили широкое использование в садово-парковом строительстве, в озеленении населенных пунктов [1–3]. Для Южного берега Крыма (ЮБК) в этом плане особое значение имеют работы, связанные с изучением интродукционного потенциала видов рода *Cedrus* Trew.

Мировая история культуры *Cedrus libani* A. Rich. насчитывает более 350 лет, а *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. и *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere – более 180 лет. Первоначально их высаживали только в парках, а затем стали внедрять и в лесные культуры. Кедр ливанский был завезен в Англию в период 1620–1640 гг., в 1822 г. в Европе в культуру был введен кедр гималайский. *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere культивируется с 1842 г. Сейчас это одно из наиболее распространенных хвойных деревьев в лесных культурах и парках Южной Европы.

История интродукции кедров в России насчитывает около 190 лет. Кедр атласский, гималайский и ливанский впервые интродуцированы в Россию в XIX столетии Никитским ботаническим садом.

В Крыму первым интродуцированным представителем рода *Cedrus* Trew. был *Cedrus libani* A. Rich. Как отмечено в «Каталоге по растениям и семенам, продающимся в Императорском Никитском саду на Южном берегу Крыма» (1868 г.), в 1826 г. из Англии была получена одна шишка кедра ливанского; в парк высажен в 1828 г. В 1836 г. из Южной Франции были получены семена этого вида, из которых выращено 12 деревьев. В 1852 и 1862 гг. получены семена от Лавзона. С 1861 г. *Cedrus libani* A. Rich. уже числился в каталоге продающихся растений.

В 1842 г. из Англии Никитский сад получил семена *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don., а в 1847 г. были сделаны первые посадки в арборетуме. В 1839 г. были получены семена кедра гималайского из Гамбурга; в 1860 г. – семена из Германии и растения из Англии; в 1862 г. – растения от Сенеклоза. В каталоге продающихся растений этот вид числится уже с 1877 г. При этом отдельно продавали форму «мощная».

Cedrus atlantica (Endl.) G. Monetti ex Carriere в арборетуме Никитского сада произрастает с 1850 г. В 1859–1860 гг. из-за границы получены семена и растения данного вида, очевидно, в большом количестве, т. к. уже с 1861 г. он числится в каталоге растений, предназначенных для продажи [4].

Многолетний опыт культивирования, биоэкологические и декоративные характеристики различных видов кедра определяют их важное значение как структурного элемента при формировании парковых сообществ и ландшафтном дизайне в условиях Южного Крыма [5].

Цель исследований: анализ и обобщение многолетнего опыта культивирования представителей рода *Cedrus* Trew. в арборетуме НБС, оценка дендрометрических и жизненных характеристик отдельных деревьев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили представители рода *Cedrus* Trew дендрологической коллекции арборетума НБС. В 2016 г. был проведен учет деревьев и комплексная оценка их биоэкологических характеристик. Измеряли высоту и диаметр ствола, анализировали жизненное состояние деревьев. Изучение жизненного состояния проводили с использованием 5-балльной шкалы оценки санитарного состояния деревьев: 5 – растение не повреждено вредителями и болезнями, не имеет сухих веток, сохраняет естественную форму ствола и кроны, ежегодно цветет и плодоносит; 4 – растение имеет сухие ветви, повреждено вредителями; 3 – растение имеет сухие ветви, цветет, но не плодоносит, повреждено вредителями и болезнями, не имеет естественной формы ствола и кроны; 2 – растение имеет сухие ветви, поражено вредителями и болезнями, не имеет естественной формы ствола и кроны; 1 – растение, которое усыхает в наземной части [6]. По характеристике засухоустойчивости все таксоны условно делили на четыре группы устойчивости к летней засухе (июль – сентябрь), типичной для субаридного варианта средиземноморского климата Крыма:

1 – незасухоустойчивые растения, страдающие даже в условиях постоянного полива как от воздушной засухи, так и от дефицита влажности почвы; 2 – растения, требовательные к почвенной влажности на ЮБК, но относительно стойкие к воздушной засухе; 3 – растения относительно засухоустойчивые; устойчивы к воздушной засухе и требовательные к почвенной влажности; необходим полив в засушливый период года; 4 – засухоустойчивые растения, развивающиеся без искусственного орошения в летний период [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время на территории арборетума НБС произрастает 11 видовых и внутривидовых таксонов представителей рода *Cedrus* Trew, относящихся к 3 видам: *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don., *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere и *Cedrus libani* A. Rich., включая 1 гибрид (*Cedrus libani* Loud. x *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere) и 7 садовых форм.

Cedrus atlantica (Endl.) G. Monetti ex Carriere представлен 52 деревьями (18,8 % от общего количества кедров в арборетуме). При изучении особенностей роста древесных растений в условиях интродукции определен интерес представляют показатели динамики прироста деревьев по диаметру и высоте. Средняя высота этих деревьев составляет $12,3 \pm 0,5$ м, диаметр – $41,4 \pm 3,4$ см (табл.). По характеристике жизненного состояния большая часть растений имеет достаточно высокие показатели, средний балл составил $4,0 \pm 0,32$.

В дендрологической коллекции парка в настоящее время произрастает 4 садовые формы кедра атласского ('Obelisk', 'Glauca Pendula', 'Glauca', 'Argentea'), единично представлены: *C. atlantica* 'Obelisk' (1 экземпляр) и *C. atlantica* 'Glauca Pendula' (4 экземпляра), однако в целом преобладает исходный вид – *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Monetti ex Carriere (рис. 1).

Таблица

Биоэкологические характеристики представителей рода *Cedrus* Trew арборетума «НБС-ННЦ»

Название вида	Высота ствола, м	Диаметр ствола, см	Жизненное состояние
	$M \pm s$	$M \pm s$	$M \pm s$
<i>C. atlantica</i>	$12,3 \pm 0,5$	$41,4 \pm 3,4$	$4,0 \pm 0,32$
<i>C. deodara</i>	$16,8 \pm 0,6$	$55,9 \pm 2,9$	$3,9 \pm 0,17$
<i>C. libani</i>	$13,2 \pm 0,4$	$48,1 \pm 5,3$	$3,7 \pm 0,27$

Примечание: M – среднее значение, s – ошибка среднего

Деревья *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. представлены в наибольшем количестве (155 экземпляров, или 56,2 % от всех представителей рода *Cedrus* Trew) и формируют основное ядро дендрологической коллекции арборетума. Средняя высота деревьев составляет $16,8 \pm 0,6$ м, диаметр – $55,9 \pm 2,9$ см, что больше аналогичных показателей для *C. atlantica* на 4,5 м и 14,5 см соответственно.

Интенсивность ростовых процессов формирования стволов деревьев по высоте у кедра гималайского заметно выше в сравнении с остальными кедром арборетума. Данные биоэкологические свойства определили то, что кедр гималайский наиболее широко, в сравнении с другими видами рода *Cedrus* Trew, используется в лесных культурах на Южном макросклоне Главной гряды Крымских гор [8].

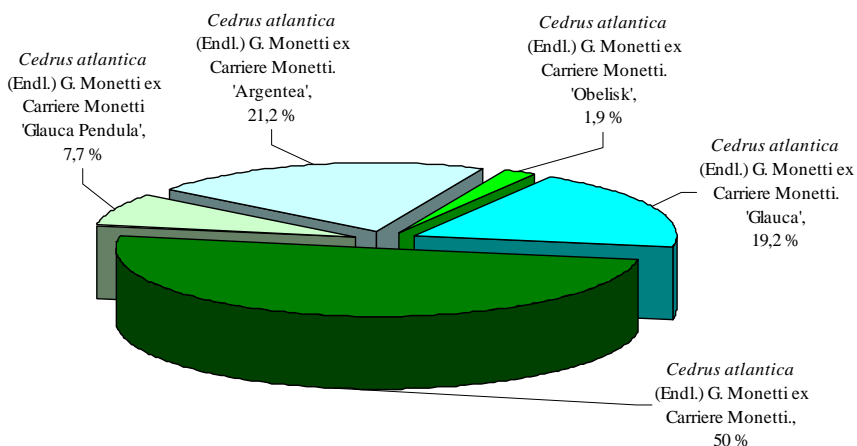


Рис. 1. Распределение экземпляров *Cedrus atlantica* (Enl.) G. Monetti ex Carriere и его садовых форм в арборетуме «НБС-НИЦ».

В насаждениях арборетума в основном представлен исходный вид – *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. (150 экземпляров), его садовые формы произрастают в единичных экземплярах: *C. deodara* 'Pendula' и *C. deodara* 'Darsan' (рис. 2).

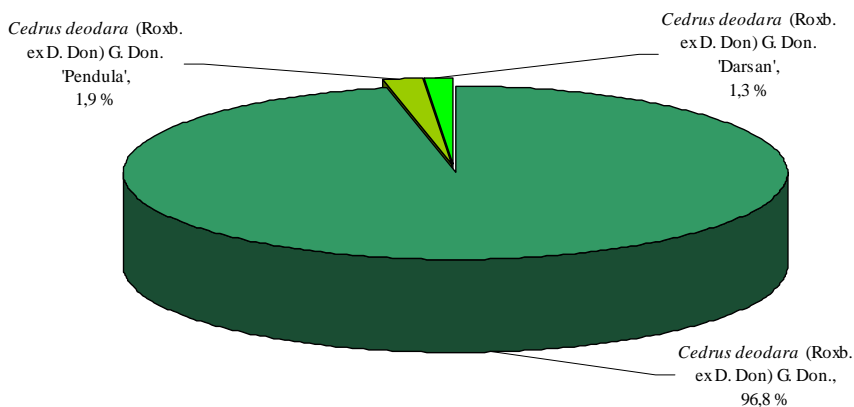


Рис. 2. Распределение экземпляров *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. и его садовых форм в арборетуме «НБС-НИЦ».

В настоящее время в арборетуме НБС-ННЦ произрастает 63 экземпляра *Cedrus libani* A. Rich. (22,8 % от общего количества представителей рода). Средняя высота представителей составляет $13,2 \pm 0,4$ м, диаметр – $48,1 \pm 5,3$ см. Данный вид вполне успешно адаптировался к местным условиям произрастания, о чем свидетельствует наличие достаточно обильного самосева. При этом следует отметить, что у деревьев кедра ливанского отмечается некоторое снижение жизненных функций, средний балл жизненного состояния составил $3,7 \pm 0,27$. Очевидно, это связано с возрастными изменениями состояния деревьев, не исключается также проблема повышенной плотности размещения растений на куртинах, что усиливает внутривидовые и межвидовые конкурентные отношения. В формовом разнообразии кедра ливанского в количественном отношении доминирует *Cedrus libani* A. Rich. 'Glauca' (33 экземпляра), исходный вид представлен 30 деревьями (рис. 3).

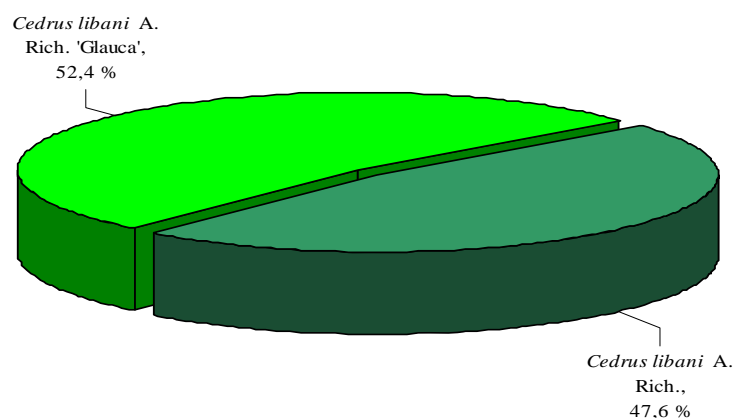


Рис. 3. Распределение экземпляров *Cedrus libani* A. Rich. и его садовых форм в арборетуме «НБС-ННЦ».

Уровень влагообеспечения лимитирует возможности роста и развития интродуцированных растений. В условиях ЮБК одной из наиболее важных задач создания благоприятных условий роста является обеспечение необходимого объема полива растений в засушливые периоды. Дефицит водных ресурсов и их высокая стоимость сегодня определяют некоторые сложности в формировании и поддержании высокого качества коллекционных насаждений.

По требовательности к почвенной влаге представителей рода *Cedrus* Trew. на территории арборетума выделены в две группы растений: первая включает засухоустойчивые растения – 58 % от общего количества таксонов, которые в условиях ЮБК способны произрастать без искусственного орошения в летний период; вторая группа (42 %) – растения, относительно устойчивые к действию дефицита почвенной влаги, нуждаются в поливе в летний и ранне-осенний засушливые периоды (рис. 4).

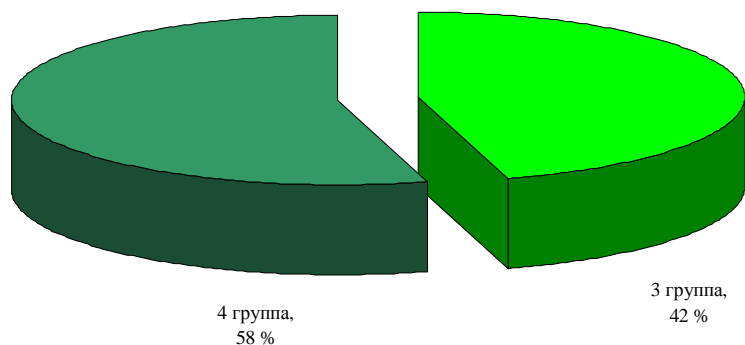


Рис. 4. Распределение таксонов рода *Cedrus Trew*. арборетума «НБС-ННЦ» по характеристике засухоустойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных инвентаризационных работ установлено, что в настоящее время в арборетуме НБС произрастает 11 видовых и внутривидовых таксонов рода *Cedrus Trew*. Деревья *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. характеризуются повышенной интенсивностью роста и достаточно высоким уровнем жизненного состояния, а также формируют основное дендрологическое ядро коллекционных насаждений парка, при этом они проявляют наиболее высокие показатели жизненного состояния. По требовательности к почвенной влаге представителей рода *Cedrus Trew*. выделены в две группы: первая включает засухоустойчивые растения (58%), которые в условиях ЮБК способны произрастать без искусственного орошения в летний период; вторая (42%) – растения, относительно устойчивые к действию дефицита почвенной влаги, нуждающиеся в поливе засушливые периоды.

Общая оценка состояния и особенностей культивирования кедра в условиях арборетума НБС свидетельствуют о необходимости дальнейшего расширения использования представителей рода *Cedrus Trew*. в садово-парковом строительстве и озеленении населенных пунктов на юге нашей страны.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 14-50-00079

Список литературы

1. Кузнецов С. И. Вклад А. М. Кормилицына в теорию интродукции древесных растений в связи с перспективами ее развития / Кузнецов С. И. // Сб. науч. трудов ГНБС – 2008. – Т. 130. – С. 120–126.

2. Кузнецов С. И. Интродукция кедров (*Cedrus*) в СССР / Кузнецов С. И., Ругузов А. И., Казмирова Р. Н. // Материалы VIII дендрологического конгресса социалистических стран. – Тбилиси, 1982. – 42 с.
3. Потапенко И. Л. Декоративные формы хвойных древесных растений для озеленения Юго-восточного Крыма / Потапенко И. Л., Клименко Н. И. // Материалы международной научной конференции: Перспективы интродукции декоративных растений в ботанических садах и дендропарках. – Симферополь: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского. – 2014. – С. 40–43
4. Забелин И. А. Деревья и кустарники арборетума Никитского ботанического сада. Голосеменные / Забелин И. А. // Тр. Никит. ботан. Сада. – 1939. – Вып. 1. – 178 с.
5. Плугатарь Ю. В. Оценка состояния и особенностей культивирования видов рода *Cedrus* Trew в экспозициях Верхнего парка арборетума Никитского ботанического сада. / Ю. В. Плугатарь, В. П. Коба, В. В. Папельбу // IV Всероссийская научно-практическая интернет-конференция с международным участием «Декоративное садоводство России: состояние, проблемы, перспективы». – Сочи, 2015. – С. 194–199.
6. Прокофьева Е. А. Некоторые аспекты эколого-биологического состояния деревьев Алушкинского парка / Прокофьева Е. А. // Современные научные исследования в садоводстве. – 2000. – Ч. 1. – С. 109–111.
7. Галушко Р. В. Каталог дендрологической коллекции арборетума ГНБС / Галушко Р. В., Захаренко Г. С., Кузнецова В. М. и др. – Ялта, 1993. – 102 с.
8. Плугатарь Ю. В. Леса Крыма: монография / Плугатарь Ю. В. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 368 с.

BIO-ECOLOGICAL EVALUATION OF THE SPECIES OF THE GENUS *CEDRUS* TREW IN THE NIKITSKY BOTANICAL GARDENS ARBORETUM

Plugatar Yu. V., Koba V. P., Papelbu V. V., Gerasimchuk V. N.

*Federal State Funded Institution of Science “The Nikita botanical gardens – National scientific center of the RAS”, Yalta, Crimea, Russian Federation
E-mail: Serb_84@mail.ru*

The article covers the problems of introduction of the species of the genus *Cedrus* Trew. On the examples of the Nikitsky Botanical Gardens Arboretum plants it has been given the characteristic of the dendrometrical parameters and a biotic level of the species of the genus *Cedrus* Trew., that are used in a garden – park construction and greening in the Southern Coast of the Crimea. On the base of the inventory works it has been pinned down that for the time being there are 11 species and intraspecies taxons of the genus *Cedrus* Trew in the Arboretum. The trees *Cedrus deodara* (Roxb. ex D. Don) G. Don. are marked with a higher intensity of growth and a high biotic level. The plants *Cedrus libani* A. Rich. form the main dendrological core of the collection park plants, hereat they exert the highest biotic parameters. According to the soil moisture requirement there are two groups of the genus *Cedrus* Trew. representatives: the first one includes the draught – resistant plants, that are able to grow without any artificial irrigation during a summer season in the conditions of the Southern Coast of the Crimea, the second one includes the plants, that are relatively resistant to a deficit of a soil moisture and have to be irrigate during a dry period. The total evaluation of the state and peculiarities of a cedar cultivation in the conditions of Arboretum give an evidence of necessity to a further

enlargement of the genus *Cedrus Trew* representatives' use in a garden – park construction and communities' greening in the South of our country.

Keywords: the genus *Cedrus Trew.*, Arboretum, introduction, dendrometry, biotic.

References

1. Kuznetsov S. I. Contribution A. M. Kormilitsyna in the theory of the introduction of woody plants in connection with the prospects of its development, *Sb. sci. of the works of the GNBS*, **130**, 120 (2008).
2. Kuznetsov S. I., Ruguzov A. I., Kazimirova R. N. Introduction of cedars (*Cedrus*) in the USSR, *Proceedings of the VIII dendrological congress of socialist countries*, 42 (Tbilisi, 1982).
3. Potapenko I. L., Klimenko N. I. Decorative forms of coniferous woody plants for landscaping of the South-Eastern Crimea, *Materials of the international scientific conference: Prospects of introduction of ornamental plants in botanical gardens and dendroparks*, 40 (Simferopol: Crimean Federal University V.I. Vernadsky, 2014).
4. Zabelin I. A. Trees and shrubs of the Arboretum Nikitsky Botanical Garden. Gymnosperms, *Works of the Nikitsky Botanical Gardens*, **1**, 178 (1939).
5. Plugatar Yu. V., Koba V. P., Papelbu V. V. Assessment of the condition and peculiarities of cultivation of species of the genus *Cedrus Trew* in the expositions of the Upper Arboretum Park of the Nikitsky Botanical Garden, *IV All-Russian scientific and practical Internet conference with international participation "Decorative Horticulture in Russia: state, problems, prospects"* (Sochi, 2015).
6. Prokofieva E. A. The some aspects of ecological and biological state of the Alupkinsky Park trees, *The modern scientific researches in gardening*, **1**, 109 (2000).
7. Galushko, R.V., Zakharenko, G.S., Kuznetsova, V.M. and etc. *Catalogue of dendrological collection of SNBG*, 102. (Yalta, 1993)
8. Plugatar Yu V. *Forests of Crimea: a monograph*, 368 (Simferopol: IT "ARIAL", 2015)

УДК 581.1:576.3: 631.811.98

**ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА ЭПИН-ЭКСТРА НА МИТОТИЧЕСКУЮ
АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ КУКУРУЗЫ НА ФОНЕ
ДЕЙСТВИЯ СУЛЬФАТА МЕДИ**

Решетник Г. В.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: levina.galya.60@mail.ru*

В статье приведены результаты исследований митотической активности клеток корневой меристемы проростков кукурузы (*Zea mays* L.) при одновременном воздействии препарата Эпин-экстра и возрастающих концентраций сульфата меди. Митотическую активность клеток апикальной меристемы оценивали цитологическими методами по общепринятой методике. В результате исследования было установлено, что предпосевная обработка семян в 0,075 % растворе препарата Эпин-экстра приводит к увеличению митотического индекса на 34 % в варианте опыта с максимальной концентрацией (100 мМ) сульфата меди. Прорастание семян кукурузы в среде поллютанта способствовало формированию профазно-метафазного блока, снижению количества клеток в анафазе и телофазе. Под действием препарата происходит перераспределение количества клеток в сторону анафазно-телофазного блока. Таким образом, препарат Эпин-экстра стимулирует митотическую активность клеток апикальной меристемы корешков кукурузы при действии различных концентраций сульфата меди с дальнейшим усилением процессов роста корней и повышения поглотительной способности.

Ключевые слова: кукуруза, Эпин-экстра, митотический индекс, деление клеток, сульфат меди.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время техногенное загрязнение стало одним из наиболее значимых экологических факторов, которые определяют условия существования и эволюции всей биоты, включая человека. Процессы естественного развития и функционирования экосистем под влиянием антропогенных воздействий определяются как силой воздействия, так и природой действующих факторов.

Экологические факторы антропогенного происхождения изменяют свойства почвы, продуктивность растений, качество продукции, увеличение количества засоленных территорий, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами.

Проблема тяжелых металлов в современных условиях глобальная. Все тяжелые металлы обладают высокой токсичностью, миграционной способностью, а также канцерогенными и мутагенными свойствами [1, 2]. Они не только тормозят рост и развитие растений, но и оказывают влияние на фотосинтез, дыхание, водный обмен и минеральное питание, изменяют гормональный баланс и структуру мембран. [3, 4]. Металлы связываются непосредственно с аминокислотами, белками, замещают ионы металлов в ферментах, регенируя свободные формы кислорода, что является

основой токсического действия металлов [5–7]. Ионы тяжелых металлов одновременно с общей физиологической токсичностью проявляют и генотоксические свойства, повреждая ядерный материал, нарушая фазы митоза и цитокинез [8–10].

Медь – один из важнейших эссенциальных микроэлементов, является кофактором ряда ферментов, вовлекается в процессы фотосинтеза и дыхания, защищает растения от окислительного стресса [11]. Однако диапазон концентраций меди, обеспечивающих оптимальный клеточный метаболизм и развитие растений, весьма узок. Считается, что даже двукратное превышение может оказывать негативное действие, тогда как высокие концентрации меди вызывают токсичные синдромы (хлорозы и некрозы, ингибирование роста корней и побегов), вплоть до летальных эффектов [7, 12].

Одним из важнейших путей снижения содержания тяжелых металлов в сельскохозяйственной продукции является обработка растения биологически активными веществами. Препарат Эпин-экстра является антистрессовым адаптогеном, обладает способностью нейтрализовать вредное воздействие пестицидов, солей тяжелых металлов, радионуклидов и нитратов. Препарат Эпин-экстра, выпускаемый ННПП «НЭСТ М», официально разрешен к применению в России и Белоруссии с 1992 г. Препарат создан на основе эпибрассинолида методом химического синтеза из эргостерина пекарских дрожжей [13].

Составляющими роста является деление и растяжение клеток, за счет чего происходит увеличение массы и размеров тканей, формирование продуктивности растений. Нарушение роста – один из видимых симптомов воздействия различных стресс-факторов. Большая часть веществ, поступающих в растение, поглощается корневой системой, поэтому в корне наблюдается первичная реакция на их воздействие. Такое воздействие приводит к нарушениям жизнедеятельности клеток. Поэтому целью наших исследований явилось изучение влияния препарата Эпин-экстра на ростовые показатели корешков и митотическую активность клеток апикальной меристемы прорастающих семян кукурузы *Zea mays* L. CV / Кладио / на фоне действия сульфата меди.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали семена и проростки кукурузы *Zea mays* L. CV / Кладио /. Исследования проводили в лабораторных условиях. Семена кукурузы отбирали по средним размерам и протравливали в течение 15 минут в 1 % растворе перманганата калия с целью поверхностной стерилизации. Затем семена промывали дистиллированной водой. Предпосевная обработка семян проводилась в 0,075 % растворе препарата Эпин - экстра. Контрольную часть семян замачивали в отстоянной водопроводной воде. В качестве источника ионов меди использовали медный купорос (ч.д.а.). Обработанные препаратом семена для проращивания помещали в кюветы на фильтровальную бумагу и приливали по 250 мл раствора сульфата меди различной концентрации (от 25мМ до 100мМ). В качестве контроля семена проращивали на отстоянной водопроводной воде и на

растворах сульфата меди тех же концентраций. Семена проращивали в термостате типа ТС-80М-2 в темноте при температуре +25 °С согласно ГОСТу 12038 – 84 [14].

Для определения митотической активности клеток корневой меристемы проростков кукурузы материал фиксировали в уксусном спирте (3:1) на протяжении суток при +10 °С [15]. Фиксированный материал промывали в 96 % спирте и сохраняли в 70 % растворе этилового спирта в холодильнике. Для цитологических исследований окраску корешков проводили ацетокармином на протяжении 48 часов. Временные давленные препараты корневых кончиков проростков кукурузы готовили по стандартной методике [16]. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности, анализируя не менее 1000 клеток. Расчет митотического и фазных индексов производили по общепринятым формулам [16]. Статистическую обработку данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характер реакции проростков кукурузы на действие сульфата меди был однотипен за время роста и зависел от концентрации металла в среде произрастания. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние препарата Эпин-экстра на длину корневой системы растений кукурузы на фоне действия сульфата меди в динамике ($\bar{x} \pm S_x$)

Варианты опыта	Длина подземной части, см		
	7-е сутки	14-е сутки	21-е сутки
Контроль	9,21±0,22	12,03 ± 0, 11	15,22 ± 0, 12
Контроль + Эпин-экстра	9,81±0,20	13,03±0,28	16,23±0, 27
25мМ CuSO ₄	13,29 ± 0,1	15,20 ± 0,30	19,10 ± 0,20
25 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	14,19±0,12	16,45±0,15	19,10±0,20
50 Мм CuSO ₄	8,48 ± 0,22	13,20 ± 0,22	15,20 ± 0,22
50 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	12,48±0,22	14,80±0,12	17,12±0,12
100 Мм CuSO ₄	6,74 ± 0,18	9,30 ± 0,14	12,52 ± 0,20
100 Мм CuSO ₄ + Эпин-экстра	10,05±0,28	13,30±0,14	16,52±0,22

Примечание: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P \leq 0,01$ для всех вариантов.

Под действием сульфата меди в концентрации 100мМ длина корневой системы 7-суточных проростков ингибируется на 27 % по сравнению с контрольным вариантом. В варианте опыта с предпосевной обработкой семян кукурузы в 0,075 % растворе препарата Эпин-экстра при данной дозе металла токсический эффект нивелируется и абсолютные значения корней составляют 10 см против 9 см в контроле ($1/2$ среда Кнопа) и 7 см под действием сульфата меди (табл. 1). Данная закономерность сохранялась на протяжении всего эксперимента, что свидетельствует о адаптогенном действии препарата. Одновременно с ингибированием роста корневой системы сульфатом меди наблюдали потемнение кончиков корешков, что свидетельствует о некрозе меристематических тканей. В вариантах с предпосевной обработкой семян препаратом Эпин-экстра данные симптомы отсутствовали

Поскольку рост корня зависит от интенсивности деления клеток, то исследование процессов митоза под действием меди, как тяжелого металла, объясняет причину угнетения роста корневой системы. Обобщенные данные исследования влияния регулятора роста Эпин-экстра и сульфата меди на митотическую активность клеток апикальной меристемы корня проростков кукурузы представлены на рисунке 1.

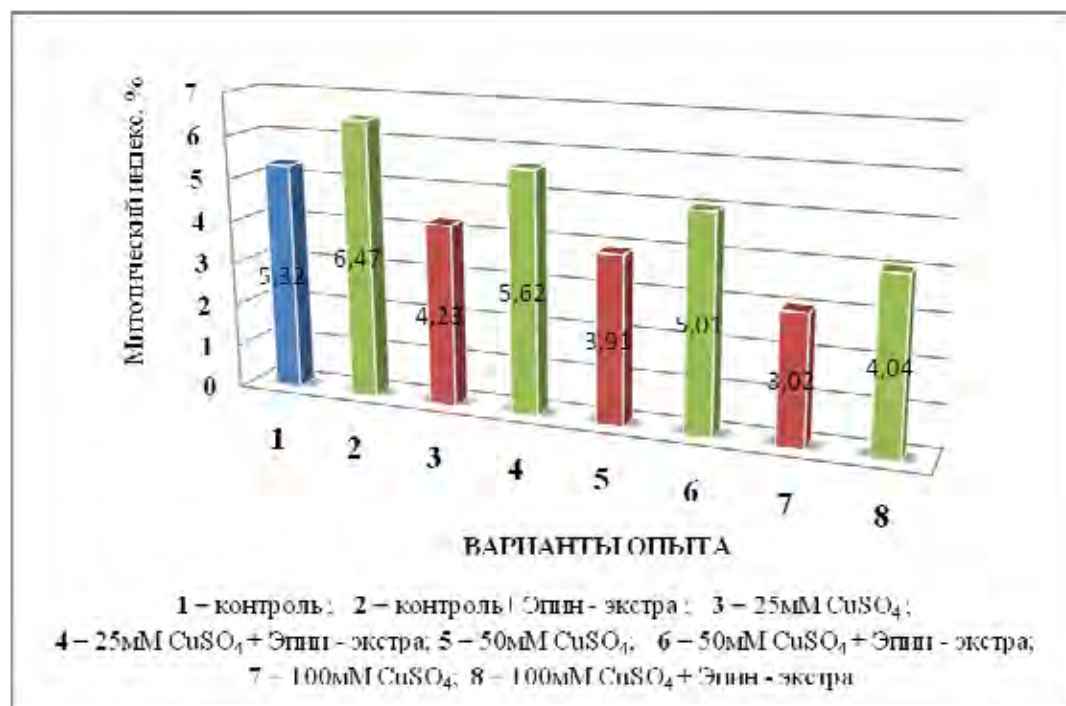


Рис. 1. Влияние препарата Эпин-экстра на митотическую активность апикальной меристемы корня кукурузы на фоне действия сульфата меди.

Полученные данные свидетельствуют, что препарат Эпин-экстра повышает митотический индекс меристематических клеток корней кукурузы во всех вариантах эксперимента на фоне действия сульфата меди. Возрастающие концентрации меди негативно влияли на митотический индекс, понижая его. При максимальной концентрации CuSO_4 митотический индекс составлял 3,02 %. В этом же варианте, но с предпосевной обработкой семян препаратом значение равнялось 4,04 %, увеличивая митотический индекс на 33 %. Даже при минимальных концентрациях меди (25мМ CuSO_4) снижается митотический индекс и составляет 4,23 %, тогда как препарат Эпин-экстра увеличивает данный показатель в 1,3 раза. Таким образом, препарат Эпин-экстра положительно влияет на деление клеток, способствуя увеличению митотического индекса.

Под действием сульфата меди меняется соотношение отдельных фаз митоза меристематических клеток корней кукурузы, что отображено в таблице 2.

Таблица 2

Влияние препарата Эпин-экстра на значения фазных индексов клеток корешков апикальной меристемы кукурузы на фоне действия сульфата меди

Варианты опыта	Профаза	Метафаза	Анафаза	Телофаза
Контроль	27,11±0,40	24,34±1,08	24,25±0,87	24,30±0,13
Контроль +Эпин-экстра	26,41±1,21	25,32±0,21	26,19±0,73	26,09±0,63
25 мМ CuSO_4	30,73±0,36	28,01±0,51	20,98±0,53	20,27±0,33
25мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	29,86±0,65	22,43±0,39	25,71±1,17	23,00±0,49
50 мМ CuSO_4	32,73±0,36	28,01±0,51	21,98±0,53	17,28±0,33
50 мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	29,86±0,65	21,43±0,39	26,71±1,17	23,00±0,49
100 мМ CuSO_4	27,33±0,81	50,57±1,11	17,70±0,44	13,96±0,45
100 мМ CuSO_4 + Эпин-экстра	30,74±0,97	30,23±0,86	18,78±0,56	20,25±0,37

Примечание: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P \leq 0,01$ для всех вариантов.

При максимальной концентрации меди (100мМ CuSO_4) резко увеличивается количество клеток, находящихся в метафазе, метафазный индекс составляет 51 % и отличается от контроля в 2 раза. В варианте с предпосевной обработкой семян препаратом Эпин-экстра метафазный индекс понижается на 20 %, увеличивается количество клеток, находящихся в телофазе в среднем на 7 %. При минимальной концентрации тяжелого металла максимальное количество клеток находится в профазе и метафазе. В данном варианте опыта препарат Эпин-экстра не оказал достоверного влияния на фазные индексы меристематических клеток., на 5 %

увеличивается анафазный индекс. При концентрации сульфата меди 50 мМ максимальное количество клеток находится в профазе (33 %), а минимальное – в телофазе (17 %), тогда как под влиянием препарата происходит перераспределение количества клеток по фазам митоза – увеличиваются анафазный и телефазный индексы, а уменьшается метафазный.

В данном варианте опыта препарат Эпин-экстра не оказал достоверного влияния на фазные индексы меристематических клеток, на 5 % увеличивается анафазный индекс. При концентрации сульфата меди 50 мМ максимальное количество клеток находится в профазе (33 %), а минимальное – в телофазе (17 %), тогда как под влиянием препарата происходит перераспределение количества клеток по фазам митоза – увеличивается анафазный и телефазный индексы и уменьшается метафазный. Во всех вариантах опыта под действием препарата Эпин-экстра происходит увеличение процента анафаз и телофаз. Увеличение количества клеток в метафазе при максимальной концентрации металла в среде произрастания семян кукурузы возможно обусловлено связыванием меди с сульфгидрильными группами митотического аппарата [18, 19], в результате чего происходит их окисление, так как тяжелые металлы усиливают перекисное окисление липидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что по мере возрастания концентрации сульфата меди происходит снижение митотического индекса клеток апикальной меристемы корешков кукурузы, следствием чего является ингибирование роста корневой системы в целом. По мере возрастания меди в растворе наблюдалось формирование профазно-метафазного блока при снижении продолжительности анафазы и телофазы. Предположительно возрастание доли клеток, находящихся на стадии профазы и метафазы, является механизмом адаптации к стрессовым факторам, что согласуется с данными из литературных источников. Самая высокая концентрация поллютанта в среде вызывала резкое увеличение процентного содержания клеток на стадии метафазы, что значительно уменьшило количество клеток на стадии анафазы и телофазы. Обработка семян препаратом Эпин-экстра нивелировала соотношение клеток в различных фазах митоза, что способствовало повышению линейных показателей корневой системы. Экзогенное действие брассинолида вызывает активацию роста клеток как делением, так и растяжением. Брассинолид взаимодействует с другими фитогормонами и вовлекается в регуляцию ростовых процессов, активируя работу ДНК- и РНК-полимераз. Таким образом, увеличение митотического индекса, по-видимому, вызвано возрастанием активности фермента РНК-полимеразы I, способствующей увеличению белоксинтезирующего аппарата и усилению синтеза белка [20].

Список литературы

1. Башмаков Д. И. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / Д. И. Башмаков, А. С. Лукаткин – Саранск: изд-во Мордовского ун-та, 2009. – 236 с.
2. Серегин И. В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – С. 606–630.
3. Meharg A. A. 2005. Mechanisms of plants resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. / Meharg A. A. // Plant Soil. – 274. – P. 163–174.
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. / Clemens S. // Biochimie. – 2006. – 88. – P. 1707–1719.
5. Евсеева Т. И. Закономерности индукции цитогенетических эффектов у растений при действии тяжелых металлов / Т. И. Евсеева, Е. С. Белых, Т. А. Майстренко // Вестник института биологии Коми НЦ Уро РАН. – 2005. – Т. 87, №1. – С. 4–13.
6. Иванов В. Б. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия / В. Б. Иванов, Е. И. Быстрова, И. В. Серегин // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – С. 445–454.
7. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. / Clemens S. // Planta. – 2001. – 212. – P. 475–486.
8. Довгалюк Л. И. Оценка фито- и цитотоксической активности соединений тяжелых металлов и алюминия с помощью корневой апикальной меристемы лука // Л. И. Довгалюк, Т. Б. Калиняк, Я. Б. Блюм // Цитология и генетика. – 2001. – Т. 35, № 1. – С. 3–7.
9. Довгалюк Л. И. Цитогенетические эффекты солей токсических металлов в клетках апикальной меристемы корней проростков *Allium scera* L. / Л. И. Довгалюк, Т. Б. Калиняк, Я. Б. Блюм // Цитология и генетика. – 2001. – Т. 35, № 2. – С. 3–9.
10. Кожевникова А. Д. Влияние нитратов свинца, никеля и стронция на деление и растяжение клеток корня кукурузы // А. Д. Кожевникова, И. В. Серегин [и др.] // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – С. 268–278.
11. Hall J. L. Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance / Hall J. L. // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53. – P. 1–11.
12. Решетник Г. В. Влияние препарата Эпин-экстра на прорастание семян кукурузы на фоне действия сульфата меди / Г. В. Решетник, М. П. Леонов, С. И. Чмелева // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты): материалы VII Международной научно-практической конференции, г. Ялта, Республика Крым, 25 сентября – 1 октября 2016 года. – С. 290–291.
13. Полифункциональность действия брассиностероидов. Сборник научных трудов. Москва: «НЭСТ М», 2007. – 360 с.
14. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями N 1, 2). Требования – Введ. 1986–06–30. – М.: Межгосударственный стандарт: Изд-во стандартов, 2011. – 29 с.
15. Собчук Н. А. Влияние предпосевной обработки препаратом циркон на митотическую активность апикальной меристемы корней кукурузы / Н. А. Собчук, С. И. Чмелева // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия», 2015 – Том 1 (67), № 1. – С. 107–114.
16. Прохорова И. М. Оценка митотического и мутагенного действия окружающей среды: Метод. указания / И. М. Прохорова, М. И. Ковалева, А. Н. Фомичева. – Ярослав. гос. ун-т. – Ярославль, 2003. – 32 с.
17. Протасов К. В. Статистический анализ экспериментальных данных / К. В. Протасов – М.: Мир. 2005. – 232 с.
18. Мэзия Д. Митоз и физиология клеточного деления / Д. Мэзия – М.: ИЛ, – 1963. – 427 – С. 17.
19. Каташов Д. А. Влияние фитогормонов и селената натрия на митотическую активность апикальных меристем корней проростков рапса (*Brassica napus*) / Д. А. Каташов, В. Н. Хрянин // Известия

высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 2 (2). – С. 49–54.

20. Kalinich J. F. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolide-induced responses in beans / J. F. Kalinich, N. B. Mandava, J. A. Todhunter // J. Plant Physiol. – 1985. – Vol. 120, №3. – P. 207–221.

THE INFLUENCE OF THE DRUG EPIN-EXTRA ON THE MITOTIC ACTIVITY OF ROOT MERISTEM CELLS OF CORN ON THE BACKGROUND OF THE ACTION OF COPPER SULPHATE

Reshetnik G. V.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: levina.galya.60@mail.ru*

Disturbance of growth is one of the visible symptoms of the effects of various stress factors. Most of the substances entering the plant, is absorbed by the root system, so at the root of the observed primary reaction to their impact. Such exposure leads to impaired functioning of the cells. Therefore, the aim of our research was to study the influence of the drug Epin-ekstra on growth rates of roots and mitotic activity of apical meristem cells of germinating corn seeds *Zea mays* L. CV / Claudio / on the background of the action of copper sulphate. The drug Epin-ekstra is an anti- stress adaptogen that has the ability to neutralize the harmful effects of pesticides, salts of heavy metals, radionuclides and nitrates/

The objects of study were used seeds and seedlings of corn, *Zea mays* L., CV /Claudio /. The study was performed in the laboratory. Presowing treatment of seeds was carried out in 0,075 % solution of the drug Epin-ekstra. Control some of the seeds were soaked in settled tap water. As a source of copper ions using a copper sulphate (h. d. a.). Treated seeds for germination were placed in cuvettes on a filter paper and was poured 250 ml of the copper sulfate solution of different concentrations (from 25mm to 100mm). As a control, seeds germinated on water supply pooled water and on solutions of copper sulphate the same concentrations. Seeds germinated in a thermostat TC-80M-2 in the dark at a temperature of +25 ° C according to GOST 12038 – 84. To determine the mitotic activity of cells of root meristem of shoots of corn, the material was fixed in acetic alcohol (3:1) overnight at +10 °C. Fixed material was washed in 96 % alcohol and preserved in 70 % ethanol in the fridge. For cytological studies the color of the roots was acetocarmine for 48 hours. Temporary squash preparations of root tips of maize seedlings was prepared by standard methods the experiment was carried out in triplicates by analyzing at least 1000 cells. Calculation of mitotic and phase indexes were produced according to standard formulas. Statistical data processing was carried out, calculating the arithmetic mean and standard error of the arithmetic average.

In the result of the study it was found that presowing treatment of seeds of 0.075 % solution of the drug Epin-ekstra leads to an increase in mitotic index by 34 % in the variant with maximal concentrations (100 mm) of copper sulphate. The germination of corn seeds in the environment of the pollutant contributed to the decline in mitotic index, formation of protezno – metaphase block, reducing the number of cells in anaphase and

telophase. Under the action of the drug is a redistribution of the number of cells in the direction anaphase – telephase unit. Thus, the drug Epin-ekstra stimulates the mitotic activity of apical meristem cells of maize roots under different concentrations of copper sulfate with further intensification of the processes of root growth and improving absorption capacity.

Keywords: corn, Epin-extra, mitotic index, cell division, copper sulfate.

References

1. Bashmakov D. I., Lukatkin A. S., *Ecological and physiological aspects of accumulation and distribution of heavy metals in higher plants*, 236 (Mordovia University Publishing House, Saransk, 2009).
2. Seregin I. V., Ivanov V. B., Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects of on higher plants, *Physiology of Plants*, **48**, 606 (2001).
3. Meharg A. A. Mechanisms of plants, resistance to metal and metalloid ions and potential biotechnological applications. *Plant Soil*, **274**, 163 (2005).
4. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, **88**, 1707 (2006).
5. Evseeva T. I., Regularities in the induction of cytogenetic effects in plants under the action of heavy metals, *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Science Center, Uro RAS*, **87**, **1**, 4 (2005).
6. Ivanov V. B., Comparison of the influence of heavy metals on root growth in connection with the problem of specificity and selectivity of their action, *Physiology of Plants*, **50**, 445 (2003).
7. Clemens S. Molecular mechanisms of plant tolerance and homeostasis. *Planta*, **212**, 475 (2001).
8. Dovgalyuk L. I., Assessment of phyto- and cytotoxic activity of compounds of heavy metals and aluminum using root apical meristem of onions, *Cytology and Genetics*, **35**, **1**, 3 (2001).
9. Dovgalyuk L. I., Cytogenetic effects of toxic metals salts on apical meristem cells of *Allium cepa* L. seeding roots, *Cytology and Genetics*, **35**, **2**, 3 (2001).
10. Kozhevnikova A. D., Seregin I. V., Influence of lead, nickel and strontium nitrates on the division and extension of corn root cells, *Physiology of plants*, **56**, 268 (2009).
11. Hall J. L. Cellular Mechanisms for Heavy Metal Detoxification and Tolerance, *J. Exp. Bot.*, **53**, 1 (2002).
12. Reshetnik G. V., Leonov M. P., Chmeleva S. I., Influence of the Epin-extra preparation on the germination of corn seeds against the background of copper sulfate action, *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference "Biotechnology as a tool for conserving the biodiversity of the plant world (physiological -biochemical, embryological, genetic and legal aspects)* (Yalta, the Republic of Crimea, 2016), 290.
13. *Polyfunctionality of the brassinosteroids action*, Collection of scientific papers, 360 ("NEST M", Moscow, 2007).
14. State standard GOST 12038–84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination (with Changes No 1, 2), Requirements, introduced 1986-06-30, 29 p. (Interstate Standard Publishing House of Standards, Moscow, 2011).
15. Sobchuk N. A., Chmeleva S. I., Effect of presowing treatment with zircon preparation on the mitotic activity of the apical meristem of corn roots, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. "Biology, Chemistry" Series*, **1** (**67**), **1**, 107 (2015).
16. Prokhorova I. M., Kovaleva M. I., Fomicheva A. N., *Evaluation of the mitotic and mutagenic action of the environment*, 32 (Yaroslavl State University Publishing House, Yaroslavl, 2003).
17. Protasov K. V., *Statistical analysis of experimental data*, 232 (Mir Publishing House, Moscow, 2005).
18. Masia D., *Mitosis and the physiology of cell division*, 427 (IL Publishing House, Moscow, 1963).
19. Katashov D. A., Khryanin V. N., Influence of phytohormones and sodium selenium on the mitotic activity of apical meristems of the roots of rape seedlings (*Brassica napus*), *Proceedings of Higher Educational Establishments. The Volga region. Natural Sciences*, **2** (**2**), 49 (2013).
20. Kalinich J. F., Mandava N. B., Todhunter J. A. Relationship of nucleic acid metabolism to brassinolideinduced responses in beans, *J. Plant Physiol.*, **120**, **3**, 207 (1985)

УДК 612.44:75.016

ОСОБЕННОСТИ ТИРЕОИДНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЭУТИРЕОИДНОЙ ЗОНЫ

Соболев В. И.

*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: v.sobolev@mail.ru*

Сравнительный анализ индивидуальных значений параметров в парах «величина физиологического показателя – уровень циркулирующего свободного трийодтиронина» позволил установить форму зависимости функциональной активности гормона от его концентрации в пределах эутиреоидной зоны у белых крыс. Установлен неравномерный характер нарастания физиологической активности трийодтиронина в разных секторах шкалы его концентрации. При росте уровня трийодтиронина в пределах эутиреоидной зоны его физиологическая активность в отношении частоты сердечных сокращений, мощности, развиваемой мышцей, и латентного периода М-ответа нарастает по закону «ломаной линии» с точкой перегиба в области 3.8–4.1 пмоль/л; такая «точка активации» служит условной границей, разделяющей зону низкой и зону прогрессивно нарастающей активности гормона. Такая закономерность не распространяется на скорость потребления кислорода целостным организмом, которая при росте уровня трийодтиронина нарастает прямо пропорционально во всем исследованном диапазоне концентрации гормона.

Ключевые слова: тиреоидная регуляция физиологических функций, трийодтиронин, сокращение мышцы, сердце, общий обмен.

ВВЕДЕНИЕ

Механизмы тиреоидной регуляции физиологических функций являются предметом многочисленных исследований и литературных обзоров, в том числе и последних лет [1–6]. Базовые сведения относительно направленности действия активных йодтиронинов в значительной степени основаны на результатах экспериментов, выполненных на моделях с измененным тиреоидным статусом: от гипотиреоза до тиреотоксикоза [5, 7–12 и др.]. Особо показательны эксперименты с выяснением так называемого «тиреоидного вклада» в обеспечении функционирования того или иного физиологического механизма. Так, в ряде публикаций тиреологами в клинике заболеваний щитовидной железы и экспериментах на животных показано, что гипотиреоз различной этиологии сопровождается существенным снижением степени функциональной выраженности ряда физиологических функций и величины физиологических констант: хронотропной функции сердца [13], уровня общего метаболизма [1, 3, 7, 12], эрготропной функции скелетной мышцы [2, 7], латентных периодов возбуждения различных структур [1, 8], концентрации субстратов окисления, активности ферментов окислительно-восстановительных реакций, скорости биосинтеза белков

[3, 4, 14, 15] и мн. др. На основании сравнительного анализа моделей «эутиреоз – гипотиреоз – гипертиреоз» сделан вывод о тиреоидных гормонах как естественных регуляторах разнообразных биологических явлений и физиологических механизмов. Между тем остается практически не изученным вопрос о характере и закономерностях тиреоидной регуляции функций в рамках так называемой эутиреодной зоны гормонов, т.е. в пределах диапазона концентраций циркулирующих йодтиронинов эутиреодного (интактного) организма. Такой диапазон характеризуется, в частности, показателем отношения уровня гормона в конце шкалы концентрации к уровню в ее начале, достигающего 3 единиц [2, 10, 16]. В настоящее время уже не требует дополнительных доказательств факт высокой межиндивидуальной вариабельности при прочих равных условиях многих физиологических констант как системных (скорость потребления кислорода, хронотропная функция сердца, артериальное давление и др.), так и частных (латентный период сокращения мышцы, амплитуда М-ответа, концентрация некоторых отдельно взятых гормонов и т. п.). Безусловно, что такая вариабельность связана с большим числом факторов, но и не вызывает сомнения предположение о том, что значительная часть вариабельности обусловлена разным уровнем циркулирующих тиреоидных гормонов.

Все сказанное позволяет предполагать, что в рамках диапазона колебаний концентрации активных йодтиронинов в интактном организме функционируют механизмы регуляции физиологических функций, реализующиеся по закону «доза – эффект». *A priori* можно утверждать, что вместе с ростом уровня циркулирующих тиреоидных гормонов выраженность их физиологических эффектов: а) нарастает прямо пропорционально концентрации йодтиронинов, б) возрастает по закону, который описывается уравнением, отличным от уравнения прямой линии, или в) усиливается начиная с определенной физиологически детерминированной концентрации гормона. Попытке ответить на поставленный вопрос и посвящено настоящее исследование.

Целью работы явилось установление формы зависимости степени функциональной активности свободного трийодтиронина от его концентрации в пределах диапазона эутиреодной зоны на основе сопоставления индивидуальных значений в парах «величина физиологического показателя – уровень циркулирующего трийодтиронина».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все исследования проведены в соответствии с «Руководством по уходу и использованию лабораторных животных» (публикация Национального института здоровья № 85–23, США) и «Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [17]. В качестве лабораторных животных были использованы 50 взрослых белых крыс-самцов одного возраста (3 месяца) с массой тела (288 ± 3 г), содержащихся в стандартных условиях вивария при температуре 22–26 °С.

В ходе экспериментов у животных исследовали состояние четырех физиологических показателей: в условиях *in vivo* – скорость потребления кислорода

и частота сердечных сокращений, *in situ* – мощность, развиваемая мышцей при выполнении внешней работы, и латентный период генерации М-ответа волокнами передней большеберцовой мышцы. Выбор перечня исследованных показателей определялся соображениями о представительстве и иерархии функциональных систем.

Измерение скорости потребления кислорода (V_{O_2} , мл/кг/мин) проводили в открытой камерной системе с помощью газового анализатора «Radiometer» (Дания) в состоянии покоя, без наркоза, при естественной позе животного и в условиях термонейтральной зоны (для мелких грызунов 28–30 °С).

Хронотропную функцию сердца оценивали по частоте сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), которую измеряли с помощью электронного тахометра (по частоте R-зубцов электрокардиограммы). Во время регистрации ЧСС животное без применения наркоза помещали в индивидуальную клеточку с ЭКГ-электродами (латунными пластинами), встроенными в ее дно.

Показатель мощности (W , мВт), развиваемой передней большеберцовой мышцей (*m. tibialis anterior*), определяли путем вычисления отношения объема внешней работы, выполненной мышцей в ходе изотонического сокращения с грузом 100 г, к затраченному времени. Миографический канал экспериментальной установки был представлен датчиком углового перемещения (потенциометрический датчик ПТП1), электрическим мостом Уитсона, усилителем тока и регистрирующим устройством (запоминающий осциллограф Tektronix TDS 2004C или Siglent SDS 1062CM). Для раздражения малоберцового нерва, иннервирующего исследуемую мышцу, использовали электростимулятор прямоугольных электрических импульсов, построенный на основе функционального генератора ICL8038CCDP, оптронную гальваническую развязку и стабилизатора тока, а также игольчатые электроды, накладываемые на малоберцовый нерв. Для раздражения нерва использовали электрические импульсы прямоугольной формы частотой 60 имп/с длительностью 100 мкс каждый при постоянной силе тока 500 мкА; продолжительность раздражения нерва составляла 5 с. При раздражении нерва мышца сокращалась и стопа задней лапки, соединенная стальной лигатурой с потенциометрическим датчиком, изгибалась, поднимая груз массой 100 г на высоту «*h*». В дальнейшем при анализе цифровой записи миограммы возможно было рассчитать выполненную мышцей внешнюю работу, а затем и развиваемую интегральную мощность.

Латентный период генерации М-ответа (ЛП, мс) передней большеберцовой мышцы вычисляли на основании анализа цифровой записи вызванного М-ответа. Регистрацию М-ответа проводили с помощью электрофизиологической установки, представленной отводящими биполярными стальными электродами (межэлектродное расстояние 1 мм), биоусилителем на базе инструментального усилителя INA118, гиратором – режектором сетевой помехи, оптронной гальванической развязкой (HCNR200), запоминающим осциллографом Tektronix (TDS 2004C) или Siglent (SDS1062CM) и компьютером. В ходе анализа CSV-файлы из памяти осциллографа импортировали в программу Excel, после чего измеряли латентный период М-ответа (время от момента нанесения раздражения на нерв до

начала генерации М-ответа). Параметры импульсов для стимуляции малоберцового нерва, иннервирующего мышцу, были следующими: длительность импульса 100 мкс, частота 2 имп/с, сила тока 500 мкА (стабилизатор тока стимулятора).

Ход опыта был следующим. Первоначально у животного в условиях термонейтральной зоны, в состоянии покоя и естественной позе измеряли скорость потребления кислорода и частоту сердечных сокращений (исследование *in vivo*, длительность не более 20 мин.), после чего внутривентриально вводили этиаминал натрия (75 мг/кг). Далее отпрепаровывали малоберцовый нерв, иннервирующий переднюю большеберцовую мышцу, который помещали на электроды электростимулятора. В среднюю часть мышцы вводили электромиографические электроды для регистрации М-ответа. После подготовительных процедур вначале записывали М-ответ мышцы, а затем, после изменения режима раздражения нерва, регистрировали миограмму при изотоническом сокращении. Длительность регистрации указанных двух показателей не превышала 1 мин.

После завершения опыта животное сразу же декапитировали и в пробе крови определяли содержание свободного трийодтиронина (T_3). Определение гормона проводили с помощью метода иммуноферментного анализа с использованием системы «Thermo Labsystems» (Финляндия) и стандартного набора реагентов «ТироидИФА-трийодтиронин свободный» производства России.

Цифровые данные обрабатывали с помощью стандартных методов вариационной статистики (Excel, Statistica 7.0). Каждый анализируемый вариационный ряд предварительно оценивали на предмет соответствия нормальному закону распределения (*W-тест Шапиро – Уилка*). Оценку различий между средними арифметическими проводили с помощью *t*-критерия Стьюдента (*двухвыборочный t-тест для выборок с различными дисперсиями*) при заданном уровне значимости $p < 0.05$. Характер зависимости между уровнем циркулирующего трийодтиронина и величиной исследуемого физиологического показателя определяли на основе регрессионного анализа. Анализ целостных вариационных рядов на предмет наличия независимых множеств проводили с помощью дисперсионного анализа: *двухвыборочного F-теста для дисперсий* (параметрический показатель) и дополнительно – с помощью критерия *Краскела – Уоллиса* и *медианного теста* (непараметрические показатели). В общем случае сравнение анализируемых показателей и статистическую оценку различий проводили общепринятыми методами, используемыми в вариационной статистике, на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень циркулирующего свободного трийодтиронина (таблица 1). Данный показатель в силу своей значимости для всего последующего анализа результатов исследования требует отдельного описания. Объективную характеристику вариационного ряда, прежде всего, отражают результаты итоговой статистики. Помимо всего прочего, видно, что отношение максимального уровня T_3 к минимальному составило 3.45 (показатели «Максимум / Минимум»), а коэффициент вариации достигал значения 27.5 %; все это свидетельствует о

широком диапазоне колебаний уровня трийодтиронина в крови эутиреоидного организма. Отмеченный факт открывает широкие возможности для последующего анализа характера зависимости исследуемых физиологических показателей от уровня циркулирующего трийодтиронина. Показатели эксцесса, асимметрии и медианы свидетельствуют в пользу нормального распределения данных в ряду. На это же указывает *тест Шапиро – Уилка* ($p = 0.071$) с построением гистограммы частот распределения. Выяснилось, что, несмотря на определенную степень правосторонней асимметрии, распределение по частоте встречаемости значений уровня трийодтиронина в вариационном ряду соответствует нормальному закону. Последнее может рассматриваться как свидетельство однородности выборки, отсутствия на краях вариационного ряда нетипичных вариантов и позволяет в ходе статистического анализа использовать его параметрические методы.

Таблица 1

Характеристика вариационных рядов исследованных физиологических показателей

Статистический показатель	Концентрация свободного трийодтиронина, пмоль/л	Скорость потребления кислорода, мл/кг/мин	Частота сердечных сокращений, уд/мин	Латентный период М-ответа, мс	Мощность, развиваемая мышцей, мВт
Среднее	4.46	23.4	417	2.68	29.0
Стандартная ошибка	0.17	0.18	2.5	0.074	0.34
Медиана	4.2	23.2	416	2.85	28.5
Мода	4.3	21.9	409	3.1	28.1
Стандартное отклонение	1.23	1.25	17.8	0.52	2.42
Дисперсия выборки	1.51	1.56	319	0.28	5.88
Эксцесс	0.22	-0.11	-0.50	-0.32	1.63
Асимметрия	0.6	0.58	0.09	-0.69	1.24
Интервал	5.4	5.1	78	2.2	11.1
Минимум	2.2	21.1	380	1.3	24.9
Максимум	7.6	26.2	458	3.5	35.9
Коэффициент вариации, %	27.5	5.3	4.3	19.4	8.3
Число вариант	50	50	50	50	50

Скорость потребления кислорода (таблицы 1 и 2, рис. 1А). Уровень основного обмена, показателем которого служит скорость потребления кислорода в условиях термонейтральной зоны, является важнейшим интегральным параметром энергетического баланса гомойотермного организма.

Таблица 2
Значение физиологических показателей ($M \pm m$) в разных диапазонах
концентрации циркулирующего свободного трийодтиронина у белых крыс с
эутиреоидным статусом

Физиологический показатель		Диапазон низкой активности трийодтиронина	Диапазон нарастающей активности трийодтиронина	Разница
Скорость потребления кислорода	Рамки диапазона уровня трийодтиронина (в круглых скобках) и его среднее значение ($M \pm m$), пмоль/л	(2.2-4.1) 3.46±0.13 n = 22	(4.2-7.6) 5.24±0.19 n = 28	+1.78±0.23 P = 2.64E-09
	Значение скорости потребления кислорода в разных диапазонах, мл/кг/мин.	22.4±0.14	24.2±0.20	+1.8±0.27 +8 % P = 6.98E-09
Частота сердечных сокращений	Рамки диапазона уровня трийодтиронина (в круглых скобках) и его среднее значение ($M \pm m$), пмоль/л	(2.2-3.7) 3.02±0.12 n = 12	(3.8-7.6) 4.91±0.17 n = 38	+1.89±0.21 P = 6E-11
	Частота сердечных сокращений в разных диапазонах, уд./мин.	399±3.8	422±2.5	23±4.5 +5.8 % P = 5E-05
Латентный период М-ответа	Рамки диапазона уровня трийодтиронина (в круглых скобках) и его среднее значение ($M \pm m$), пмоль/л	(2.2-3.8) 3.08±0.14 n = 13	(3.9-7.6) 4.94±0.17 n = 37	+1.9±0.24 P = 8.8E-11
	Латентный период М-ответа в разных диапазонах, мс	3.2±0.04	2.5±0.08	-0.7±0.09 -22 % P = 4.12E-09
Мощность, развиваемая мышцей	Рамки диапазона уровня трийодтиронина (в круглых скобках) и его среднее значение ($M \pm m$), пмоль/л	(2.2-4.1) 3.46±0.13 n = 22	(4.2-7.6) 5.24±0.19 n = 28	+1.78±0.23 P = 8.48E-10
	Мощность, развиваемая мышцей в разных диапазонах, мВт	28.0±0.23	29.8±0.54	+1.8±0.59 +6.4 % P = 0.0037

Результаты экспериментов показали, что у животных с эутиреоидным статусом между величиной скорости потребления кислорода, с одной стороны, и уровнем циркулирующего трийодтиронина, с другой, существует выраженная положительная прямо пропорциональная связь, хорошо описываемая уравнением прямой линии (рис. 1А):

$VO_2 = 0.87 [T_3] + 19.6$ при $b_{xy} = 0.87 \pm 0.07$ ($p < 0.01$), коэффициентах детерминации $R^2 = 0.73$ и корреляции Пирсона 0.85 ± 0.08 ($p < 0.01$).

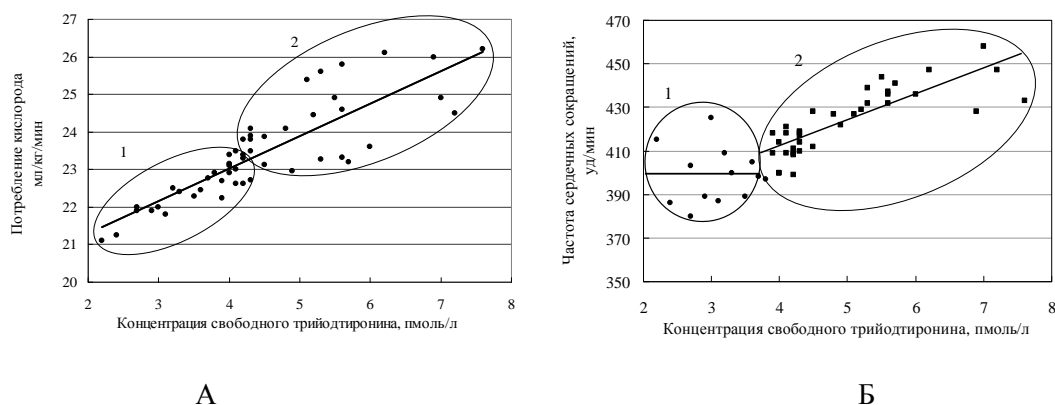


Рис. 1. Зависимость скорости потребления кислорода (А) и частоты сердечных сокращений (Б) от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина в рамках эутиреоидной зоны.

Обозначения. Овалы (1, 2) выделяют независимые множества вариантов в целостных вариационных рядах; прямые линии отображают регрессионные зависимости.

Обращает на себя внимание факт нарастающей вариабельности значений VO_2 вместе с ростом уровня трийодтиронина (рис. 1,А). Так, во второй части диапазона концентрации T_3 («4.2 – 7.6 пмоль/л») величина дисперсии, согласно двухвыборочному F-тесту, была в 2.7 раза выше ($p = 0.0098$), чем в начале диапазона эутиреоидной зоны («2.2 – 4.1 пмоль/л»). Разделение экспериментально установленного целостного вариационного ряда (диапазона концентрации T_3) на две части выполнено на основании значения статистического показателя «Медиана», равного 4.2 пмоль/л, с дальнейшей оценкой вновь образованных множеств на «независимость» с помощью двухвыборочного F-теста для дисперсий, критерия Краскела – Уоллиса и медианного теста. В выделенных овалами на рис. 1А двух множествах средние значения VO_2 составляли соответственно 22.4 ± 0.14 и 24.2 ± 0.20 мл/кг/мин., т. е. различались на 8.0 % ($p < 0.01$). Зависимости «физиологический эффект – уровень T_3 » в отдельных частях выборки описывались, как и в случае целостного вариационного ряда, уравнениями прямых линий (на рис. 1А не указаны), однако коэффициенты регрессий в уравнениях статистически достоверно не различались. Таким образом, во второй, правосторонней, части физиологической шкалы колебаний уровня трийодтиронина («4.2–7.6 пмоль/л») интенсивность потребления кислорода характеризовалась более высокой степенью вариабельности. Однако характер нарастания физиологической активности T_3 во всем диапазоне его концентрации оставался монотонным.

Хронотропная функция сердца (таблицы 1 и 2, рис. 1Б). Характер зависимости частоты сердечных сокращений (ЧСС) от концентрации T_3 у крыс эутиреоидной группы имел сложный характер. На графике рассеивания (рис. 1Б) видно, что в

разных участках шкалы концентрации T_3 характер зависимости «ЧСС – T_3 » различается по параметрам variability точек и их абсолютным значениям. Применяв метод последовательного вычисления семейства регрессионных уравнений, удалось в целостном вариационном ряду выделить два независимых множества, располагающихся в начале и конце оси абсцисс, т. е. в разных секторах шкалы концентрации T_3 .

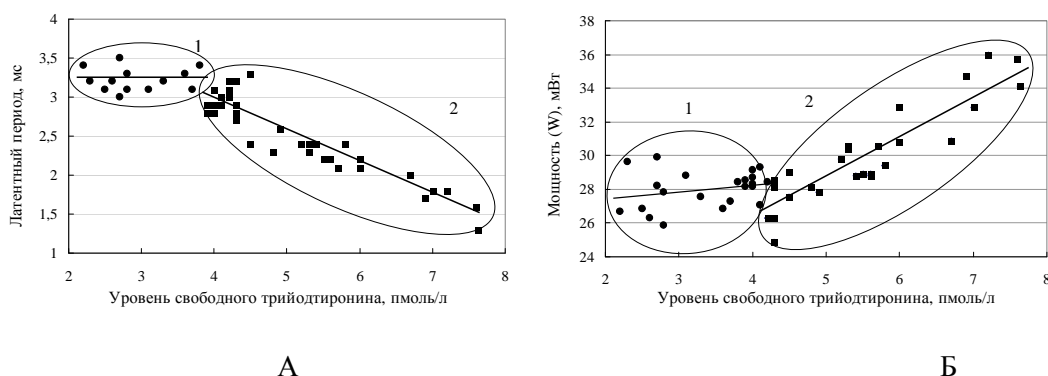


Рис. 2. Зависимость латентного периода М-ответа (А) и мощности, развиваемой мышцей при выполнении внешней работы (Б), от уровня циркулирующего свободного трийодтиронина в рамках эутиреоидной зоны.

Обозначения. Овалы (1, 2) обозначают независимые множества вариантов в целых вариационных рядах; прямые линии в овалах - линии регрессии.

В ходе анализа путем пошагового удлинения вариационного ряда (начиная с первого значения ЧСС) формировали пакет новообразованных множеств с шагом $n = 1$. В тот момент, когда в очередном множестве регрессионный коэффициент в зависимости «ЧСС – T_3 » становился статистически значимым (т. е. отличался от нуля), процесс анализа останавливали, а в качестве искомого считалось предшествующее множество. Таким способом находили первое из независимых множеств, расположенных в начале диапазона концентрации. Второе множество определяли автоматически путем вычленения из целостного вариационного ряда вариант первого множества. Затем два множества с помощью дисперсионного анализа дополнительно оценивали на предмет независимости (двухвыборочный F-тест для дисперсий, критерий Краскела–Уоллиса и медианный тест), после чего делался вывод о вероятном существовании в целостном вариационном ряду двух независимых множеств. Таким способом на шкале концентрации трийодтиронина были выделены два отдельных сектора, в рамках которых зависимости «ЧСС – T_3 » различались. Собственно зависимости описывались уравнениями прямой линии и имели следующий вид:

$ЧСС = 0.0002 [T_3] + 3.12$ при $b_{xy} = 0.0002 \pm 0.011$ ($p = 0.98$), коэффициентах детерминации $R^2 = 4E-05$ и корреляции Пирсона $r = -0.0065 \pm 0.31$ ($p > 0.8$) – для диапазона концентрации трийодтиронина «2.2–3.7 пмоль/л» – диапазон низкой активности гормона;

$ЧСС = 12.2 [T_3] + 362$ при $b_{xy} = 12.2 \pm 1.4$ ($p < 0.001$), коэффициентах детерминации $R^2 = 0.68$ и корреляции Пирсона $r = 0.82 \pm 0.09$ ($p < 0.001$) – для диапазона концентрации трийодтиронина «3.8–7.6 пмоль/л» – диапазон прогрессивно нарастающей активности гормона.

Видно, что в начальном секторе шкалы концентрации, занимающем 28 % всего исследуемого диапазона, при росте уровня T_3 величина ЧСС статистически достоверно не изменялась, о чем свидетельствуют значение коэффициента регрессии и его стандартная ошибка. Во втором секторе («3.8–7.6 пмоль/л»), наоборот, при увеличении уровня циркулирующего трийодтиронина на единицу концентрации T_3 (1.0 пмоль/л) частота сердечных сокращений стремительно нарастала с шагом (12.2 ± 1.4) уд./мин. Значение средних величин ЧСС в выделенных секторах шкалы концентрации T_3 соответственно составляли 399 ± 3.8 и 422 ± 2.5 уд./мин., т. е. различались на 23 ± 4.5 уд./мин. ($p < 0.01$). Границы диапазонов концентрации T_3 и их характеристика представлены в Табл. 2.

Латентный период (ЛП) генерации М-ответа (таблицы 1 и 2, рис. 2А). Средняя величина ЛП составила 2.68 ± 0.074 мс при соответствующих значениях стандартного отклонения и дисперсии. Характерен высокий коэффициент вариации (19.4 %).

При оценке характера распределения значений ЛП в целостной совокупности оказалось, что он не соответствует нормальному закону (тест Шапиро – Уилка, $p = 0.0072$). В подобном случае предполагается возможность существования нескольких независимых множеств в целостной совокупности. Действительно, с помощью метода расчета семейства регрессионных уравнений выяснено, что целостный вариационный ряд значений ЛП разделяется минимум на два независимых множества, расположенных в двух разных диапазонах концентрации трийодтиронина и уже с параметрами нормального распределения (рис. 2А). Обоснованность выделения двух множеств подтверждается также двухвыборочным F-тестом для дисперсии ($p = 3.5 \cdot 10^{-5}$), а также методами непараметрической статистики (критерием Краскела – Уоллиса и медианным тестом). Среднее значение ЛП во втором множестве (2.5 ± 0.08 мс) оказалось статистически достоверно ниже (-22 %, $p < 0.01$), чем в первом (3.2 ± 0.04 мс).

Определенные таким способом независимые множества значений ЛП располагаются в рамках двух диапазонов концентрации трийодтиронина: «2.2–3.8 пмоль/л» при среднем значении (3.08 ± 0.14) пмоль/л и «3.9–7.6 пмоль/л» при среднем значении (4.94 ± 0.17) пмоль/л (разница составила $+1.9 \pm 0.24$ пмоль/л).

Зависимости «ЛП – T_3 » в выделенных двух множествах описываются уравнениями прямых линий при статистически достоверных ($p < 0.01$) различиях в коэффициентах регрессии и корреляции Пирсона:

$ЛП = 0.0062 [T_3] + 3.20$ при $b_{xy} = 0.0062 \pm 0.084$ ($p = 0.94$), коэффициентах детерминации $R^2 = 0.0005$ и корреляции Пирсона 0.022 ± 0.32 ($p > 0.05$) – диапазон концентрации T_3 «2.2 – 3.8 пмоль/л» (30 % всего исследованного диапазона) – диапазон низкой активности гормона;

$ЛП = -0.41 [T_3] + 4.61$ при $b_{xy} = -0.41 \pm 0.027$ ($p < 0.01$), коэффициентах детерминации $R^2 = 0.86$ и корреляции Пирсона -0.92 ± 0.05 ($p < 0.01$) – диапазон

концентрации T_3 «3.9–7.6 пмоль/л» – диапазон прогрессивно нарастающей активности гормона.

Мощность выполнения внешней работы (таблицы 1 и 2, рис. 2Б). Средняя величина данного показателя составила 29.0 ± 0.34 мВт при коэффициенте вариации 8.3 %. Распределение значений « W , мВт» в вариационном ряду далеко не соответствовало нормальному закону ($p = 0.00025$), что побудило к поиску независимых множеств и границ их представительства. Используя аналогичные описанные выше процедуры анализа, выделили два отдельных множества, значения которых располагаются в начале и конце шкалы концентрации циркулирующего трийодтиронина. Так, на рис. 2Б видно, что точки значений « W » целостного ряда четко группируются в две группы. Новообразованные множества уже описываются нормальным законом (тест Шапиро – Уилка, $p = 0.84$ и 0.11). Средние значения показателя мощности работы « W » для 1-го и 2-го множеств статистически достоверно различались ($p < 0.05$) и составили соответственно 28.0 ± 0.23 и 29.8 ± 0.54 мВт. Обоснованность разделения целостного вариационного ряда на два независимых множества подтверждается и результатами двухвыборочного F-теста для дисперсий ($p < 0.01$), а также методами непараметрической статистики (критерием Краскела – Уоллиса и медианным тестом). Границы диапазонов концентрации T_3 и их характеристика в случае измерения мощности сокращения мышцы представлены в Табл. 2.

В выделенных областях зависимость « $W - T_3$ » описывается уравнениями прямых линий при разных значениях коэффициентов регрессии и корреляции Пирсона:

$W = 0.41 [T_3] + 26.6$ при $b_{xy} = 0.41 \pm 0.34$ ($p = 0.25$) и коэффициентах детерминации $R^2 = 0.064$ и корреляции Пирсона 0.25 ± 0.21 ($p > 0.05$) – диапазон концентрации T_3 «2.2–4.1 пмоль/л» (35 % всего исследованного диапазона) – диапазон низкой активности гормона;

$W = 2.42 [T_3] + 16.6$ при $b_{xy} = 2.42 \pm 0.21$ ($p < 0.01$) и коэффициентах детерминации $R^2 = 0.83$ и корреляции Пирсона 0.91 ± 0.08 ($p < 0.01$) – диапазон концентрации T_3 «4.2–7.6 пмоль/л» – диапазон прогрессивно нарастающей активности гормона.

Различия между коэффициентами регрессии в двух уравнениях статистически значимы ($p < 0.01$).

Представляет интерес вопрос о «сравнительной силе» физиологического эффекта трийодтиронина по отношению к отдельным исследованным показателям в рамках «диапазона нарастающей активности трийодтиронина» (3.8–7.6 пмоль/л). С этой целью были построены зависимости «доза – эффект» в относительных величинах, где за 100 % принималось максимально достигнутое значение физиологического параметра (рис. 3). Анализ показал следующее. Во-первых, все зависимости «доза – эффект» описывались уравнениями прямых линий при достаточно высоких значениях коэффициентов детерминации (0.71–0.84). Во-вторых, все линии регрессий располагались кучно, а относительная «сила» эффекта трийодтиронина для всех исследованных физиологических показателей не различалась, о чем свидетельствует отсутствие статистически достоверных

различий в значениях коэффициентов регрессий. В-третьих, тренд всех трех линий регрессий направлен за пределы исследованной зоны концентрации гормона.

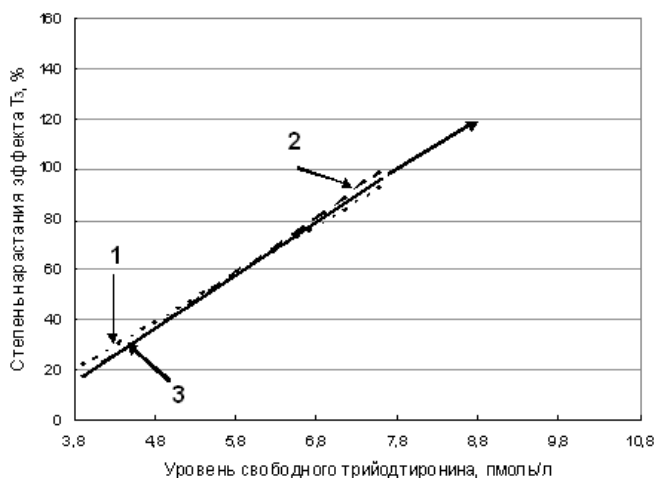


Рис. 3. Зависимость между уровнем свободного трийодтиронина и степенью нарастания его физиологического эффекта.

Обозначения. 1, 2, 3 – соответственно регрессионные зависимости для частоты сердечных сокращений, латентного периода М-ответа и мощности, развиваемой мышцей при сокращении; стрелка указывает направление тренда регрессионных прямых; за 100 % принимался максимальный физиологический эффект трийодтиронина в секторе шкалы концентрации гормона «3,8–7,6 пмоль/л».

При обсуждении полученных результатов представляют интерес два основных момента: а) особенности индивидуальной вариабельности физиологических показателей; б) характер зависимостей «физиологический эффект – доза Т₃» в разных секторах шкалы концентрации циркулирующего трийодтиронина.

В первом случае статистический анализ экспериментальных данных позволил на основе величины показателя вариации выстроить следующий ранжированный ряд: «латентный период М-ответа > мощность, развиваемая мышцей > скорость потребления кислорода > частота сердечных сокращений». Особенностью такого ряда является эффект уменьшения степени вариабельности физиологического показателя вместе с усложнением уровня организации соответствующей функциональной системы (при условии ее стационарного состояния), а также степенью биологической значимости параметра. С приведенными обстоятельствами, возможно, связан один из источников вариации как следствие присутствия в целостной совокупности (для латентного периода М-ответа и мощности, развиваемой мышцей) определенного числа вариантов, выделяющихся по своей абсолютной величине, но тем не менее ей принадлежащих. На гистограммах распределения частот эти варианты образуют так называемые «хвосты», а целостный вариационный ряд не поддается описанию нормальным законом распределения.

Что касается уровня циркулирующего свободного трийодтиронина, то последний характеризуется особо высокой вариабельностью (коэффициент вариации 27.5 %, размах ряда 5.4 пмоль/л при отношении значений «Максимум/Минимум» 3.45). Эти результаты в целом совпадают с данными, полученными для человека [10, 16], и свидетельствуют об особом статусе данного гормонального регулятора физиологических функций. Можно полагать, что уровень свободного трийодтиронина, колеблющийся у эутиреоидных белых крыс-самцов в рамках «2.2–7.6 пмоль/л», занимает только небольшую часть более широкого диапазона концентрации гормона, в том числе за пределами эутиреоидной зоны, в рамках которого свободный трийодтиронин характеризуется нарастающей физиологической активностью. Такого рода предположение согласуется с результатами ранее опубликованных работ [1, 2].

Второй момент настоящей работы, требующий отдельного обсуждения, связан с неоднородностью характера зависимостей «физиологический эффект – доза T_3 » для ряда показателей в разных секторах шкалы концентрации циркулирующего трийодтиронина. Так, было установлено, что при росте концентрации свободного трийодтиронина в пределах эутиреоидной зоны (в нашем случае от 2.2 до 7.6 пмоль/л) физиологическая активность гормона в отношении частоты сердечных сокращений, мощности, развиваемой мышцей, и латентного периода М-ответа изменяется по закону «ломаной линии» с областями, расположенными в среднем в диапазонах «2.2–3.9 пмоль/л» (низкая активность гормона при интегральной частоте попадания данных в указанный сектор 30 %) и «4.0–7.6 пмоль/л» (зона нарастающей активности гормона при интегральной частоте попадания данных в обозначенный сектор 70 %). «Точки перегиба» соответствующих кривых зависимостей расположены в области 3.8–4.1 пмоль/л. Следовательно, в начальном секторе шкалы концентрации T_3 , занимающего около 30 % всей эутиреоидной шкалы, гормон обладает низкой или очень низкой биологической активностью и лишь затем, с ростом его уровня, реализуются специфические физиологически значимые тиреоидные эффекты. Можно предположить, что на эутиреоидной шкале концентрации трийодтиронина существует своеобразная «точка активации» (в нашем случае в области «3.8–4.1 пмоль/л»), по достижении которой физиологическая активность гормона начинает прогрессивно нарастать. Следует отметить, что возможна и другая интерпретация описанного феномена.

В отношении характера зависимости «скорость потребления кислорода – уровень T_3 » можно прийти к выводу, что при росте уровня трийодтиронина потребление кислорода нарастает прямо пропорционально его концентрации во всем эутиреоидном диапазоне. По-видимому, это связано с высокой степенью интегральности данного физиологического показателя, отражающего такой системный параметр, как интенсивность общего обмена целостного организма. Как хорошо известно, метаболические эффекты тиреоидных гормонов связаны с активностью базовых (для клетки) ферментных систем и отдельных ферментов [3–5]. В этой связи результаты, касающиеся скорости потребления кислорода, могут рассматриваться с точки зрения предположения о преимущественно прямой зависимости между активностью ферментов окислительно-восстановительного

цикла, обеспечивающих высокую скорость потребления кислорода, и концентрацией циркулирующего свободного трийодтиронина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сравнительный анализ индивидуальных значений параметров в парах «величина физиологического показателя – уровень циркулирующего свободного трийодтиронина» позволил установить форму зависимости функциональной активности гормона от его концентрации в пределах эутиреоидной зоны у белых крыс.
2. Установлен неравномерный характер физиологической активности свободного трийодтиронина в разных секторах шкалы его концентрации. При росте уровня циркулирующего трийодтиронина в пределах эутиреоидной зоны его физиологическая активность в отношении частоты сердечных сокращений, мощности, развиваемой мышцей, и латентного периода М-ответа нарастает по закону «ломаной линии» с выраженной зоной перегиба в области 3.8–4.1 пмоль/л; такая «точка активации» отсекает около 30 % начального сектора эутиреоидной шкалы концентрации трийодтиронина и служит условной границей, разделяющей зону низкой («2.2–3.9 пмоль/л») и зону прогрессивно нарастающей активности трийодтиронина («4.0–7.6 пмоль/л»). Такая закономерность не распространяется на скорость потребления кислорода целостным организмом, которая при росте уровня трийодтиронина нарастает прямо пропорционально во всем исследованном диапазоне концентрации гормона.
3. На основании сравнительной оценки зависимостей между уровнем свободного трийодтиронина, с одной стороны, и частотой сердечных сокращений, латентным периодом М-ответа и мощностью, развиваемой мышцей, выраженных в относительных величинах (% от максимального значения), с другой, сделан вывод о том, что «сравнительная сила» физиологического эффекта гормона для всех исследованных показателей в рамках диапазона «активной зоны» концентрации трийодтиронина («4.0–7.6 пмоль/л») не различается, а собственно зависимости имеют вид прямых линий, располагаясь кучно с выраженным трендом за пределами эутиреоидной зоны концентрации гормона.

Список литературы

1. Соболев В. И. Характер действия адреналина на латентный период М-ответа скелетной мышцы крыс в зависимости от уровня циркулирующего трийодтиронина / В. И. Соболев // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2016. – Т. 68, № 2. – С. 58–69.
2. Соболев В. И. Зависимость функциональных параметров сокращения скелетной мышцы крыс от уровня циркулирующего трийодтиронина / В. И. Соболев // Росс. физиол. журнал им. И. М. Сеченова. – 2016. – Т. 102, № 11. – С. 1369–1382.
3. Williams Textbook of Endocrinology / 11th ed. Henry M. Kronenberg, Shlomo Melmed, Kenneth S. Polonsky, P. Reed Larsen. Philadelphia. – 2008. – P. 1–4264.

4. Lombardi A. Regulation of skeletal muscle mitochondrial activity by thyroid hormones: focus on the “old” triiodothyronine and the “emerging” 3,5-diiodothyronine / Lombardi Assunta, Moreno Maria, Lange Pieterde [et al.] // *Front. Physiol.* – 2015. – August. 6, Article 237. – P. 1–8. doi: 10.3389/fphys.2015.00237.
5. Sobolev V. I. Frequency dependence of parameters of the M-response of the rat m. tibialis in the norm and in experimental hyperthyroidism and hypercorticism / V. I. Sobolev, V. V. Trush, K. A. Litvyak, I. N. Morozova // *Neurophysiology.* – 2015. – Vol. 7, No 1. – P. 53–60.
6. Tata Jamshed R. Looking for the mechanism of action of thyroid hormone / Jamshed R. Tata // *Journal of Thyroid Research.* – 2011. – Article ID 730630. – 12 p. doi:10.4061/2011/730630. 2011.
7. Литвяк К. А. Термогенная функция скелетной мышцы белых крыс при различном тиреоидном статусе (исследование in situ) / К. А. Литвяк, В. И. Соболев // *Вестник проблем биологии и медицины.* – 2013. – Т. 98, № 1. – С. 224–228.
8. Маккий Е. А. Вызванная активность афферентных и эфферентных волокон седалищного нерва у крыс в условиях экспериментального гипертиреоза / Е. А. Маккий, П. А. Неруш, А. Г. Родинский // *Нейрофизиология.* – 2002. – Т. 34, № 1. – С. 51–59.
9. Основы нейроэндокринологии / Ред. В. Г. Шаляпина, П. Д. Шабанов. – СПб.: ЭЛБИ–СПб, 2005. – 472 с.
10. Andersen S. Narrow individual variations in serum T4 and T3 in normal subjects: a clue to the understanding of subclinical thyroid disease / S. Andersen, K. M. Pedersen, N. Henrik // *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism.* – 2002. – Vol. 87, No 3. – P. 1068–1072.
11. Gloss B. Thyroid hormone-induced stimulation of the sarcoplasmic reticulum Ca²⁺-ATPase gene is inhibited by LIF and IL-6 / B. Gloss., S. Villegas, F. J. Villarreal // *American Journal of Physiology.* – 2000. – Vol. 278, No 4. – E738–E743.
12. Hulbert A. J. Thyroid hormones and their effects: a new perspective / A. J. Hulbert // *Biological review of the Cambridge Philosophical Society.* – 2009. – Vol. 75, No 4. – P. 519–631.
13. Villet J. V. H. Thyroid hormone control of cardiac substrate metabolism / J. V. H. Villet. – Helsinki, 2009. – P. 1–37.
14. Arruda A. P. Hyperthyroidism increases the uncoupled ATPase activity and heat production by the sarcoplasmic reticulum Ca²⁺-ATPase / A. P. Arruda, W. S. Da-Silva, D. P. Carvalho // *Biochem. J.* – 2003. – Vol. 375. – P. 753–760.
15. Enriques Jose A. Direct regulation of mitochondrial RNA synthesis by thyroid hormone / Jose A. Enriques, Patricio Fernandez-Silva, Nuria Garrido-Pezet // *Mol. and Cell. Biol.* – 1999. – Vol. 19, No 1. – P. 657–670.
16. Jonklaas J. Correlations of free thyroid hormones measured by tandem mass spectrometry and immunoassay with thyroid-stimulating hormone across 4 patient populations / Jacqueline Jonklaas, Natasa Kahric-Janicic, P. Offie Soldin // *Clin. Chemistry.* – 2009. – Vol. 55, No 7. – P. 1380–1388.
17. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Ред. Р. У. Хабриев и др. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 832 с.

FEATURES OF THYROID REGULATION OF PHYSIOLOGICAL FUNCTIONS WITHIN EUTHYROID ZONE

Sobolev V. I.

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

The mechanisms of thyroid regulation of physiological functions are the subject of numerous studies. However, the question of the nature and regularities of thyroid regulation of functions within the euthyroid hormone zone remains insufficiently studied (within the range of concentrations of circulating iodothyronines of the euthyroid (intact)

organism). The determination of the form of the dependence of the degree of functional activity of free triiodothyronine on its concentration within the range of the euthyroid zone was the aim of this paper.

During the experiments, the state of four physiological parameters of the animals was studied: at in vivo conditions - the rate of oxygen consumption and heart rate, in situ - the power developed by the muscle during external work, and the latent period of the M-response generation by the muscle fiber of the *m. tibialis anterior*. After completion of the experiment, the animal was decapitated, and the content of free triiodothyronine (T3) was determined in the blood sample. The hormone was determined by the enzyme immunoassay using the «Thermo Labsystems» system (Finland) and the standard set of reagents «Thyroid IFA-triiodothyronine free» from Russia.

The comparative analysis of the individual parameter importance in pairs "the value of the physiological parameter – level of circulating free triiodothyronine" allowed to establish a form of dependence of the hormone functional activity from its concentration at within of the euthyroid zone at white rats. The uneven character of the physiological activity triiodothyronine in various sectors of the scale of its concentration was established. It has been shown that at increasing of the triiodothyronine level within the euthyroid zone its the functional activity of relation on physiological parameters (heart rate, muscle power and latent period of M-response) increases according to the law «polyline» with a point of inflection in the 3.8 – 4,1 pmol / L. The point of inflection cuts off about 30 % of the initial sector of euthyroid scale triiodothyronine concentration and serves as a conditional boundary between the low level («2.2 – 3.8 pmol / L») and the high level («3.9 – 7.6 pmol / L») of the hormone activity. Such regularity in the relation of the oxygen consumption rate by the animals is not marked. In this case, with increasing of the triiodothyronine concentration the oxygen consumption rate in the whole researched range is increasing accordance with the law of a straight line.

Keywords: thyroid regulation of physiological functions, triiodothyronine, muscle contraction, heart, general metabolism.

References

1. Sobolev V. I. Kharakter deystviya adrenalina na latentnyy period M-otveta skeletnoy myshtsy kryz v zavisimosti ot urovnya tsirkuliruyushchego triyodtironina, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya. Khimiya»*, **68(2)**, 58 (2016).
2. Sobolev V. I. Zavisimost' funktsional'nykh parametrov sokrashcheniya skeletnoy myshtsy kryz ot urovnya tsirkuliruyushchego triyodtironina, *Ross. fiziol. zhurnal im. I. M. Sechenova*, **102(11)**, 1369 (2016).
3. Williams Textbook of Endocrinology, 11th ed. Henry M. Kronenberg, Shlomo Melmed, Kenneth S. Polonsky, P. Reed Larsen, 4264 p, *Philadelphia*, (2008).
4. Lombardi I Assunta, Moreno Maria, Lange Pieterde, Iossa Susanna, Busiello Rosa A., Goglia Fernando Regulation of skeletal muscle mitochondrial activity by thyroid hormones: focus on the "old" triiodothyronine and the "emerging" 3,5-diiodothyronine, *Front. Physiol.*, August. 6, Article 237, 1 (2015).
5. Sobolev V. I., Trush V. V., Litvyak K. A., Morozova I. N. Frequency dependence of parameters of the M-response of the rat *m. tibialis* in the norm and in experimental hyperthyroidism and hypercorticism, *Neurophysiology*, **47(1)**, 53 (2015).

6. Tata Jamshed R. Looking for the mechanism of action of thyroid hormone, *Journal of Thyroid Research*, Article ID 730630, 12 pages, doi:10.4061/2011/730630, (2011).
7. Litvyak K. A., Sobolev V. I. Termogennaya funktsiya skeletnoy myshtsy belykh krysh pri razlichnom tireoidnom statuse (issledovanie in situ), *Vestnik problem biologii i meditsiny*, **98(1)**, 224 (2013).
8. Makiy E. A., Nerush P. A., Rodinskiy A. G. Vyzvannaya aktivnost' afferentnykh i efferentnykh volokon sedalishchnogo nerva u krysh v usloviyakh eksperimental'nogo gipertireoza, *Neyrofiziologiya*, **34(1)**, 51 (2002).
9. Osnovy neyroendokrinologii / Red. V. G. Shalyapina, P. D. Shabanov, 472 s, SPb.: ELBI-SPb, (2005).
10. Andersen S., Pedersen K. M., Henrik N. Narrow individual variations in serum T4 and T3 in normal subjects: a clue to the understanding of subclinical thyroid disease, *Journal of Clinical Endocrinology Metabolism*, **87(3)**, 1068 (2002).
11. Gloss B., Villegas S., Villarreal F. J. Thyroid hormone-induced stimulation of the sarcoplasmic reticulum Ca²⁺-ATPase gene is inhibited by LIF and IL-6, *American Journal of Physiology*, **278(4)**, E738 (2000).
12. Hulbert A. J. Thyroid hormones and their effects: a new perspective, *Biological review of the Cambridge Philosophical Society*, **75(4)**, 519 (2000).
13. Villet J. V. H. Thyroid hormone control of cardiac substrate metabolism, 37 p, *Helsinki*, (2009).
14. Arruda A. P., Da-Silva W. S., Carvalho D. P., De Meis L. Hyperthyroidism increases the uncoupled ATPase activity and heat production by the sarcoplasmic reticulum Ca²⁺-ATPase, *Biochem. J.*, **375**, 753 (2003).
15. Enriques Jose A., Patricio Fernandez-Silva, Nuria Garrido-Pezes Direct regulation of mitochondrial RNA synthesis by thyroid hormone, *Mol. and Cell. Biol.*, **19(1)**, 657 (1999).
16. Jonklaas Jacqueline, Kahric-Janovic Natasa, Offie P. Soldin Correlations of free thyroid hormones measured by tandem mass spectrometry and immunoassay with thyroid-stimulating hormone across 4 patient populations, *Clin. Chemistry*, **55(7)**, 1380 (2009).
17. Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv, Red. R. U. Khabriev i dr., 832 s, M.: OAO «Izdatel'stvo «Meditsina», (2005).

УДК 504.4.054(262.54+262.5)

СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Соловьева О. В., Тихонова Е. А., Мионов О. А.

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия
E-mail: tihonova@mail.ru*

Проведено ежеквартальное исследование содержания нефтяных углеводородов в прибрежных водах Крымского полуострова в 2016 г. Содержание нефти и нефтепродуктов в воде поверхностного и придонного горизонтов определяли методом ИК-спектроскопии. Можно констатировать в целом благополучную обстановку по данному показателю. Отмечены отдельные случаи превышения ПДК, большая доля которых приходится на поверхностный горизонт. Для этих глубин в западной части акватории характерно повышенное содержание нефтяных углеводородов. В среднем по исследуемому бассейну отмечено увеличение их содержания осенью, что характерно как для нулевого, так и придонного горизонтов глубин. Если подытожить эту информацию, то получается, что в Азово-Черноморской акватории содержание нефтяных углеводородов в поверхностном слое воды в большинстве случаев выше, чем в придонном. И это является признаком их преимущественного поступления с суши. При этом повышенные концентрации нефтяных углеводородов возле дна характерны для Каламитского залива и в меньшей мере – для б. Ласпи и прикерченского района Черного моря.

Ключевые слова: нефтяные углеводороды, морская вода, побережье, Черное море, Азовское море

ВВЕДЕНИЕ

Проблема нефтяного загрязнения прибрежных вод по сей день остается одним из основных вопросов, вызывающих опасение экологов и природоохранных служб. Не исключение и Азово-Черноморский бассейн, где в настоящее время нефтяное загрязнение является преобладающим. Мониторинг содержания данного класса загрязняющих веществ в Черном и Азовском морях проводится метеослужбами прибрежных государств. В настоящее время он охватывает значительные площади в восточной и западной частях Черного и некоторые участки Азовского морей. При этом мониторинг нефтяного загрязнения побережья Крыма не проводился. Единичные работы по исследованию данного параметра относятся к 1999 г. [1], более поздние – о содержании нефти в водах Керченского пролива [2, 3], привлекшего к себе внимание в ноябре 2007 г. после катастрофы танкера «Волгонефть-139». При этом крымское побережье имеет важное рекреационное значение с одной стороны и большое количество неинвентаризированных береговых источников загрязнения – с другой. Поэтому в 2016 г. был выработан план ежеквартального мониторинга нефтяного загрязнения, включающий в себя

работу по сетке станций, расположенных вдоль крымского побережья в акваториях Черного и Азовского морей (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения станций пробоотбора.

Представленная схема отбора проб должна позволить оценить изменение содержания нефтяных углеводородов (НУ) вдоль побережья полуострова и его колебание с глубиной. Большая часть станций пробоотбора приурочена к районам с повышенной антропогенной, рекреационной нагрузками, а также к природоохранным зонам, т. е. к участкам, требующим наиболее тщательного контроля состояния окружающей среды. Полученная информация должна стать основанием для планирования природоохранных мероприятий различного масштаба.

Цель настоящей работы – оценить уровень нефтяного загрязнения побережья Крымского полуострова на основании определения концентрации нефтяных углеводородов в морской воде поверхностного и придонного горизонтов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы отбирались с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Водяницкий» (ежеквартально на протяжении 2016 г.: январь – февраль, апрель, июнь, октябрь – ноябрь) по сетке станций (рис. 1), расположенных вдоль крымского побережья Черного и Азовского морей. Глубина на точках отбора придонных вод в Черном море составляла от 25 до 87 м. На станциях 16–19, расположенных в акватории Азовского моря, глубины не превышали 9–12 м, а поэтому отбор придонной воды был нецелесообразным. Всего отобрано 58 проб воды поверхностного горизонта и 34 – придонного. Первичную обработку собранного материала для дальнейшего определения НУ проводили непосредственно на судне. Для этого в пробы морской воды, отобранные с поверхностного и придонного горизонта глубин, добавляли тетрахлорметан (CCl_4) из расчета 20 см^3 на 2 дм^3 для последующей экстракции. Дальнейшую обработку проводили на берегу в лабораторных условиях с использованием общепринятой методики, разработанной в ГОИН [4]. Измерение концентрации НУ производили на

фурье-спектрофотометре ФСМ-1201 в диапазоне длин волн 2750–3150 см⁻¹. Рекордное в сравнении с обычными ИК-спектрометрами отношение сигнал/шум позволяет в несколько раз поднять чувствительность и количественно определять углеводороды на уровне 0,01 мг/дм³ и ниже [5]. Благодаря программному обеспечению спектрофотометра ФСМ-1201 при выходе измеряемой величины за область определения градуировочного графика, их концентрация рассчитывается по аппроксимирующему уравнению. Полученные значения могут служить только в качестве оценки и говорят о следовых количествах НУ в пробе. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среднее содержание НУ в поверхностном горизонте по акватории в течение 2016 г. существенно изменялось. Это вполне естественно с учетом подвижности исследуемой среды и того факта, что работы проводились как в наиболее загрязненных, так и в заповедных – условно чистых районах. Исходя из полученных данных (табл. 1), из-за высоких значений среднеквадратичного отклонения (СКО) нельзя говорить о достоверном сезонном различии содержания НУ в прибрежных водах Крыма.

Таблица 1
Концентрация НУ в поверхностном горизонте прибрежных вод Крыма, 2016 г.

Содержание НУ, мг/л	Период исследований			
	зима	весна	лето	осень
количество проб	15	12	18	13
среднее	0,028	0,050	0,038	0,078
СКО	0,040	0,047	0,042	0,051
min	0,002	0,004	0,003	0,001
max	0,131	0,187	0,183	0,163

Однако можно отметить, что есть тенденция увеличения среднего содержания от зимы к весне, летом зафиксированы невысокие значения, тогда как от лета к осени также отмечен рост концентрации поллютантов. По данному вопросу в литературных источниках содержится противоречивая информация. С одной стороны, автором [6] отмечена обратная нашим данным зависимость – уменьшение

концентрации данного класса веществ от лета к осени. Другими же исследователями максимальные величины получены весной, с последующим снижением к лету [7]. Как видно из результатов, на различных участках был существенный разброс данных, вследствие чего СКО представленных средних находилось на уровне ПДК определяемого параметра. Данный факт говорит о нецелесообразности использования этих средних для характеристики акватории, различные участки которой следует рассматривать дифференцированно.

Содержание НУ в воде колебалось на различных станциях в пределах 2-х порядков. В различные сезоны их максимальные концентрации отмечались в районе Севастополя, м. Опук, Евпатории и в южной части Керченского пролива. Минимальные – в районе м. Фиолент, Севастопольского взморья, западной части Азовского моря, Феодосийском заливе. Содержание НУ в водах крымского побережья, как правило, связано с береговым стоком (аллохтонные) и с естественными процессами размножения планктонных организмов (автохтонные).

Если рассматривать среднегодовые значения по различным станциям пробоотбора, то использовать их для характеристики конкретных участков не представляется возможным из-за существенного разброса величин в разные периоды исследований. Поэтому для санитарной характеристики района приводим зафиксированную частоту превышения уровня ПДК (рис. 2). Такое превышение в приповерхностных водах периодически отмечалось на 14-и станциях из 19-и. Причем в акватории западнее м. Херсонес (западное побережье) превышение нормативов наблюдалось в 5-и случаях из 7-и, т. е. в 71 % проб, в то время как на южном и юго-восточном участках – лишь в 3-х из 8-и (38 %). Превышения санитарных норм вовсе не зафиксировано в акватории Каркинитского залива, м. Фиолент, г. Феодосии.

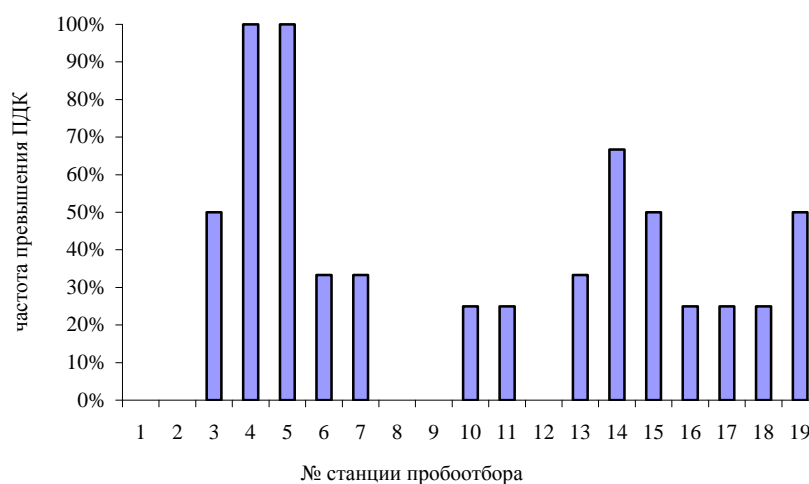


Рис. 2. Частота превышения ПДК нефтяных углеводородов в морской воде в поверхностном горизонте Крымского побережья, 2016 г.

Повышенные уровни загрязнения западной части акватории обычно связывают со стоком европейских рек, в частности Дуная [8], переносимыми черноморскими течениями на значительные расстояния. Концентрации загрязняющих веществ в этом районе также связывают с гидрологическим режимом рек [9]. Неблагополучными, с учетом частоты превышения ПДК, в этом регионе были районы м. Тарханкут (50 %), оз. Донузлав (100 %), Евпаторийское побережье (100 %), Каламитский залив (33 %), Севастопольское побережье (33 %).

В юго-восточном бассейне неблагополучием выделялись станции в районе Керченского пролива (50 %) и м. Опук (66 %), а также г. Алушты, где при достаточно низком содержании НУ в период с зимы по лето наблюдался существенный пик в осеннее время (25 %).

Комментируя полученные результаты, нужно иметь в виду тот факт, что концентрации НУ, полученные в данной работе, – это валовые величины, которые определяются как содержанием в воде нефтепродуктов, так и наличием в ней автохтонных углеводородов. В отдельных случаях большая доля может приходиться именно на автохтонные соединения, и превышение ПДК совершенно не указывает на антропогенную нагрузку в данном регионе [6].

Среднее содержание НУ в придонном горизонте в 2016 г. (табл. 2) составляло 0,035 мг/л, что ниже установленной санитарной нормы для рыбохозяйственных водоемов. Как и для поверхностного горизонта, в данном случае наблюдался широкий разброс значений – от 0,002 мг/л до 0,172 мг/л. Содержание НУ возрастало от зимы к осени, достигнув максимума (0,075 мг/л или 1,5 ПДК) в ноябре. При этом, как указывалось выше, сложно говорить о статистически достоверных данных из-за существенного различия в характеристиках исследуемых районов и изменчивости содержания загрязняющих веществ в водной толще.

Таблица 2
Концентрация НУ в придонном горизонте прибрежных вод Крыма, 2016 г.

	Период исследований			
	зима	весна	лето	осень
количество проб	8	6	12	8
среднее	0,014	0,020	0,031	0,075
СКО	0,020	0,016	0,023	0,071
min	0,002	0,007	0,010	0,002
max	0,061	0,051	0,082	0,172

В различные периоды максимальные концентрации НУ в придонном слое отмечены в районе оз. Донузлав, г. Ялта, б. Ласпи, Керченского предпроливья. Одновременное наличие максимальных значений данного показателя в верхнем и нижнем горизонте зафиксировано только в районе Керченского пролива, что является характерным для этой акватории и перекликается с данными других исследователей [7, 10].

Превышение ПДК в течение 2016 г. в придонном слое (рис. 3) отмечалось на 7-ми станциях из 13-и, т. е. в 54 % случаев, в то время как на поверхности – в 42 %.

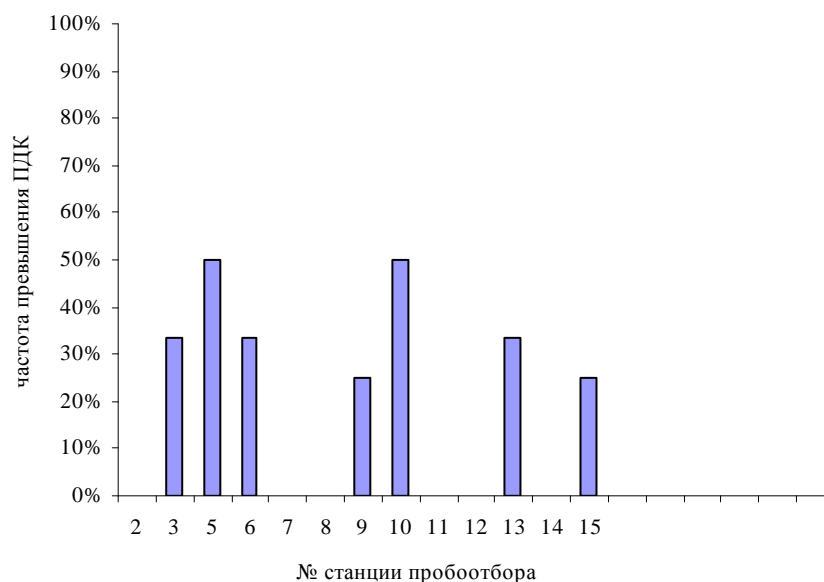


Рис. 3. Частота превышения ПДК нефтяных углеводородов в морской воде в придонном горизонте Крымского побережья, 2016 г.

При оценке изменения концентрации с глубиной было отмечено, что зимой в 5-и случаях содержание НУ на поверхности было выше, в одном – ниже, в 2-х оно на поверхности и у дна не различалось. Весной в 5-и пробах из 6-и содержание у поверхности было выше придонного. В летний период, когда получено наибольшее количество проб, на 7-и станциях концентрация в нулевом слое превышала таковую в придонном. В 1-м случае отмечена обратная тенденция, а в 4-х точках поверхностное и придонное содержания НУ не различались. В осенний период в 4-х точках поверхностная концентрация исследуемого класса веществ превышала таковую в придонном слое, в 2-х они не отличались, еще в 2-х случаях отмечено ее увеличение с глубиной.

Если подытожить полученную информацию, то получается, что в данной акватории содержание НУ в поверхностном слое воды преимущественно выше, чем в придонном. Причиной является то, что большая часть нефтепродуктов в настоящее время поступает в море в результате береговых стоков [8], а также из-за

разливов на поверхности воды [11]. В литературе на этот счет содержатся противоречивые данные, указывающие на отсутствие четкой тенденции изменения концентрации НУ с глубиной в акватории Черного моря, обусловленной особенностями данного водоема [6].

Повышенные концентрации НУ возле дна характерны для Каламитского залива и в меньшей мере – для б. Ласпи и прикерченского района Черного моря. Данное явление, возможно, связано с таким комплексом факторов, как: преобладание поступления поллютантов с поверхности; повышенное содержание органических веществ в поверхностном фотическом горизонте относительно придонного, что увеличивает долю автохтонных углеводородов; меньшее количество станций отбора в придонном горизонте, что увеличивает статистические неточности, а также дампинг загрязненных морских грунтов в районе г. Керчи.

Если обратиться к выделению неблагополучных участков, то, судя по частоте зафиксированных случаев превышения ПДК в придонном горизонте, к ним можно отнести: м. Тарханкут (25 %), Каламитский залив (25 %), б. Ласпи (25 %), район канализационного коллектора г. Ялты (50 %), Феодосийский залив (33 %), прикерченский район (25 %).

Из вышесказанного следует, что в придонном горизонте, в отличие от поверхностного, отсутствуют районы с персистирующим превышением санитарных нормативов. Превышение ПДК более чем 1 раз отмечено лишь в районе г. Ялты (2 пробы из 4-х).

Обобщение данных о содержании НУ в поверхностном и придонном горизонтах Крымского побережья показывает, что в водах исследуемой акватории санитарная обстановка по данному показателю в целом благополучная. Она более благоприятная, чем, например, в румынском секторе Черного моря, где в 2015 г. среднее содержание данной группы поллютантов составляло 0,078 мг/л [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное ежеквартально на протяжении 2016 г. исследование содержания НУ в прибрежных водах Крымского полуострова показало в целом благополучную обстановку по данному показателю. При этом отмечены отдельные случаи превышения ПДК, большая доля которых приходится на поверхностный горизонт. Для этих глубин в западной части акватории характерно повышенное содержание НУ. В среднем по исследуемому бассейну отмечено увеличение их содержания осенью, что характерно как для нулевого, так и придонного горизонтов глубин. Если подытожить эту информацию, то получается, что в Азово-Черноморской акватории содержание НУ в поверхностном слое воды в большинстве случаев выше, чем в придонном. Это является признаком их преимущественного поступления с суши. При этом повышенные концентрации НУ возле дна характерны для Каламитского залива и в меньшей мере – для б. Ласпи и прикерченского района Черного моря.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (гос. рег. № 1001-2014-0016).

Список литературы

1. Щекатурина Т. Л. Фоновые уровни загрязнения нефтепродуктами и бенз(а)пиреном шельфовой зоны Крыма (Черное море) / Т. Л. Щекатурина, Т. С. Осадчая, Л. В. Кривошеева // Экология моря. – 2002. – Вып. 59. – С. 80–84.
2. Ларин А. А. Загрязнение прибрежной акватории российского Причерноморья нефтяными компонентами / А. А. Ларин, Л. Ф. Павленко, Г. В. Скрыпник, И. Г. Корпакова // Морск. экол. журн. – 2011. – (спец. вып. 2.) – С. 49–55.
3. Матишов Г. Г. Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. / Г. Г. Матишов, Ю. И. Инжебейкин, Р. М. Савицкий // Водные ресурсы. – 2013. – 40 (3). – С. 259–273.
4. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С. Г. Орадовского. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 208 с.
5. Леоненко И. И. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды / И. И. Леоненко, В. П. Антонович, А. М. Андрианов, И. В. Безлуцкая, К. К. Цымбалюк // Методы и объекты химического анализа. – 2010 – 5, № 2. – С. 58–72.
6. Немировская И. А. Нефть в Океане (загрязнение и природные потоки) / И. А. Немировская. – М.: Научный мир, 2013. – 432 с.
7. Матишов Г. Г. Современные данные по загрязнению Азовского и Черного морей углеводородами нефти / Г. Г. Матишов, О. В. Степаньян, В. М. Харьковский, В. Г. Сойер // Вестник южного научного центра. – 2014. – 10, № 4. – С. 49–52.
8. Лебедев С. А. Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов / С. А. Лебедев // Материалы Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы современности» (Майкоп, Россия, 12–15 мая 2009 г.). – 2009. – С. 25–44.
9. Дятлов С. Е. Изменчивость содержания нефтепродуктов в воде и донных отложениях Одесского региона северо-западной части Черного моря / С. Е. Дятлов, Н. Ф. Подплетная, С. А. Запорожец // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2015. – Т. 20, Вип. 2. – С. 159–169.
10. Петренко О. А. Содержание нефтепродуктов в водной среде, донных отложениях и почве рекреационной зоны г. Керчи и о. Коса Тузла / О. А. Петренко, С. С. Жугайло, Т. М. Авдеева, С. Н. Аджимуеров // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – 10, Вып. 1. – С. 818–821.
11. Заграничный К. А. К вопросу об источниках и объемах поступления нефтяных компонентов в акваторию Черного моря / К. А. Заграничный // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 28, № 1. – С. 80–92.
12. Țigănuș D. Present Level of Petroleum Hydrocarbons in Seawater Associated with Offshore Exploration Activities from the Romanian Black Sea Sector / D. Țigănuș, V. Coatu, L. Lazăr, A. Oros // Cercetări Marine. – 2016. – № 46. – P. 98–108.

THE CONCENTRATIONS OF OIL HYDROCARBONS IN COASTAL WATERS OF CRIMEA

Soloveva O. V., Tikhonova E. A., Mironov O. A.

A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russia
E-mail: tihonova@mail.ru

A quarterly study of oil hydrocarbons content in the coastal waters of the Crimean peninsula in 2016 was carried out. The content of oil and oil products in the water of the surface and near-bottom horizons was determined by IR spectrometry. It can be stated in general that the situation is favorable in the context of this pollutant. Some cases of MPC exceeding have been noted, a large part of which falls on the surface horizon. The western part of the water area is characterized by an increased content of oil hydrocarbons for these depths. The increase in content of oil hydrocarbons was noted primarily in autumn in the studied water areas, which was typical for both zero and the near-bottom depth horizons. Summarizing it was determined that in the Azov-Black Sea water area the content of oil hydrocarbons in the surface water layer was higher than in the bottom layer. And this can be a sign of their preferential receipt from the land. At the same time, increased concentrations of oil hydrocarbons near the bottom were observed at the Kalamitsky Gulf, and to a lesser extent for Laspi bay and the Kerch district proximity of the Black Sea.

Keywords: oil hydrocarbons, sea water, coast, the Black Sea, the Sea of Azov.

References

1. Shchekaturina T. L., Osadchaya T. S., Krivosheeva L. V., Background levels of pollution by oil products and benz(a)pyrene in the shelf zone of the Crimea (the Black Sea), *Marine ecology*, **59**, 80 (2009).
2. Larin A. A., Pavlenko L. F., Skrypnik G. V., Korpakova I. G., Pollution of the coastal water area of the Russian Black Sea region by oil components, *Mar. eco. Journal*, **2**, 49 (2011).
3. Matishov G. G., Inzhebeykin Yu. I., Savitsky R. M., Influence on the environment and the biota of emergency spillage of oil products in the Kerch Strait in November 2007, *Water resources*, **40** (3), 259 (2013).
4. Oradovsky S. G., A guideline to methods of chemical analysis of sea waters, (L., Gidrometeoizdat, 1977).
5. Leonenko I. I., Antonovich V. P., Andrianov A. M., Bezlutskaya I. V., Tsybalyuk K. K., Methods for determination of oil products in waters and other environmental objects, *Methods and objects of chemical analysis*, **5** (2), 58 (2010).
6. Nemirovskaya I. A., Oil in the Ocean (pollution and natural streams) (M., The scientific world, 2013).
7. Matishov G. G., Stepanian O. V., Kharkovskiy V. M., Soyev V. G., Current data on pollution of the Azov and Black seas by oil hydrocarbons, *Bulletin of the Southern Scientific Center*, **10** (4), 49 (2014).
8. Lebedev S. A. Estimation of background pollution by oil products of the Black and Caspian Seas using remote sensing data and model calculations. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Ecological Problems of the Present»* (Maykop, 2009), p. 25.
9. Dyatlov S. E., Podpletnaya N. F., Zaporozhets S. A. Variability of the content of oil products in water and bottom sediments of the Odessa region of the northwestern part of the Black Sea, *News of ONU, Ser.: Geographic and geological sciences*, **20** (2), 159 (2015).
10. Petrenko O. A., Zhugailo S. S., Avdeeva T. M., Adzhumerov S. N., The content of oil products in the aquatic environment, bottom sediments and soil of the recreational zone of the city of Kerch and Kosa Tuzla island, *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, **10** (1), 818 (2014).
11. Zagranichny K. A., On the question of the sources and volumes of the receipt of oil components into the Black Sea water area, *The Engineering Bulletin of the Don*, **28** (1), 80 (2014).
12. Țigănuș D., Coatu V., Lazar L., Oros A., Present Level of Petroleum Hydrocarbons in Seawater Associated with Offshore Exploration Activities from the Romanian Black Sea Sector, *Cercetări Marine*, **46**, 98 (2016).

УДК 57.084

**ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «ГОНАЛ-Ф» НА РЕПРОДУКТИВНУЮ
СИСТЕМУ ЛЯГУШКИ ОЗЕРНОЙ (*PELOPHYLAX RIDIBUNDUS*) И КАРАСЯ
СЕРЕБРЯНОГО (*CARASSIUS GIBELIO*)**

Ткачева Н. Ю., Ислямова Э. Ю., Подопригора В. Н.

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

В статье представлен аналитический экспериментальный метод исследования, направленный на выявление эффективности и изучение безопасности применения фолликулостимулирующих препаратов у земноводных и рыб с целью дальнейшего внедрения их в аквакультурную практику.

Ключевые слова: аквакультура, Гонал-Ф, гормональная стимуляция, половые продукты.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность развития рыбной промышленности в современном мире требует ускорения процесса созревания репродуктивной системы рыб и получения большего количества половых продуктов, что становится возможным благодаря инновационным достижениям в области биологии и фармакологии.

Размножение рыб и земноводных – это сложный биологический процесс, каждый этап которого регулируется гипоталамо-гипофизарно-гонадной нейроэндокринной системой. Все звенья данной системы связаны между собой посредством синтеза биологически активных веществ (гормонов, нейротрансмиттеров и нейромодуляторов). Однако данная система не всегда является стабильной и значительно зависит от внешних факторов, особенностей организма, условий обитания и времени года, что является большой проблемой в аквакультуре. Поэтому на сегодня созданы и внедрены в практику препараты, способные воздействовать на гипоталамо-гипофизарно-гонадную систему. Как правило, препараты являются гормональными, так, например, используется «Сурфагон» – синтетический аналог гонадотропин-рилизинг гормона [1] или «Нерестин» – группа комбинированных препаратов, включающая в себя синтетический аналог гонадотропин-рилизинг гормона, блокатор дофаминовых рецепторов, синтетический аналог окситоцина и другие БАВ [2].

Эффект, вызываемый гормональными препаратами, у рыб и земноводных напрямую зависит от введенной дозы. Незначительные отклонения в необходимой дозе препарата могут вызвать дисбаланс в гипоталамо-гипофизарно-гонадной системе с утратой способности к выполнению репродуктивной функции, синтезу

половых продуктов и даже к гибели организма. Поэтому задачей на сегодня является поиск эффективного и безопасного препарата.

В качестве такого гормонального препарата в представленной научно-исследовательской работе предложен «Гонал-Ф» – рекомбинантный фолликулостимулирующий гормон, который оказывает гонадотропное действие: стимулирует рост и созревание фолликулов (яиц, икринок). Проверялась возможность данного препарата стимулировать созревание половых продуктов у самцов лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*), у самцов и самок карася серебряного (*Carassius gibelio*), его эффективность, безопасность, а также возможные последствия передозировки препаратом. Эффективность гормонального препарата оценивалась согласно принятым стандартам в рыбной промышленности [3, 4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Объект исследования № 1 – Лягушка озерная (*Pelophylax ridibundus*), особи мужского пола

Научная классификация

Царство: Животные

Тип: Хордовые

Класс: Земноводные

Отряд: Бесхвостые

Семейство: Настоящие лягушки

Род: Зеленые лягушки

Вид: Озерная лягушка

2. Объект исследования №2 – Карась серебряный (*Carassius gibelio*), особи мужского и женского пола

Научная классификация

Царство: Животные

Тип: Хордовые

Класс: Лучеперые рыбы

Отряд: Карпообразные

Семейство: Карповые

Род: Караси

Вид: Серебряный карась

3. Препарат для гормональной стимуляции – «Гонал-Ф»

Фармакотерапевтическая группа препарата – фолликулостимулирующее средство

Рекомбинантный фолликулостимулирующий гормон. Препарат получают методом генной инженерии на культуре клеток яичников китайского хомячка.

За период проведения научного эксперимента инъецировано препаратом «Гонал-Ф» 5 самцов лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*) и 22 особи (6 самцов и 16 самок) карася серебряного (*Carassius gibelio*).

Первая часть исследования проводилась на представителях лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*) в наиболее физиологичное для выполнения репродуктивной функции время года – в июне (2015 год).

Пол особи установлен на основании наличия вторичных половых признаков: внутренний палец передних ног имел у основания по большому бугру, наличие голосовых мешков (резонаторов) и приведенных ниже результатах препарирования.

Условия для проведения эксперимента – аквариум с постоянно поддерживающейся температурой на уровне 18–22 градусов Цельсия с достаточным количеством питательных веществ.

Ход проведения научно-исследовательского эксперимента: после помещения особей лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*) в аквариум выжидался период, необходимый для адаптации, после которого, на 3–4 сутки, производилась инъекция препарата «Гонал-Ф» под кожу в области бедренной мышцы. Доза препарата вводилась постепенно, начиная с минимальной, из расчета на вес особей. Наличие эффекта от введенного препарата оценивали до момента инъекции и спустя час после инъекции. Наличие эффекта первоначально оценивалось микроскопическим методом – выявление подвижных сперматозоидов в клоакальной жидкости лягушек. В случае если препарат не оказывал никакого эффекта, через два часа вводилась повторная доза, после чего результат фиксировался на следующие сутки. Вторую инъекцию «Гонал-Ф» вводили минимальной дозой.

Вторая часть научного исследования проводилась на представителях карася серебряного (*Carassius gibelio*) в наиболее физиологичное для выполнения репродуктивной функции время года – летом (2015 год) и весной (2016 год).

Условия для проведения эксперимента – особи, независимо от пола, были помещены в два аквариума с постоянно поддерживающейся на уровне 18–22 градусов Цельсия температурой. Питательные вещества составляли 3 % от массы особи. После периода адаптации представители карася серебряного (*Carassius gibelio*) инъецировались препаратом «Гонал-Ф». Для определения начальной дозы использовали результаты, полученные в ходе первой части эксперимента на особях лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*). Вводилась минимальная доза, на которую положительно отреагировали представители лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*), из расчета на массу тела карася серебряного (*Carassius gibelio*). Для взвешивания особей использовали технические весы. На 1 грамм веса карася серебряного (*Carassius gibelio*) приходится 2.5 МЕ (0.0042 мл) препарата «Гонал-Ф». Зрелость половых продуктов определяли по наличию текучей икры у самок, у самцов – увеличенных молок. В случае отсутствия указанных признаков проводили микроскопическое исследование на предмет подвижных сперматозоидов у самцов или наличия крупных икринок у самок.

В ходе исследования проведено препарирование инъецированных и неинъецированных особей с целью оценки наличия эффекта на введение препарата «Гонал-Ф».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первой части эксперимента первоначально оценивалась безопасность введения данного препарата. Вводились большие дозы «Гонал-Ф» (0.1 мл/г), которые не приводили к ухудшению состояния особей как сразу после введения, так и в течение периода выведения препарата (начальный $T_{1/2}$ из организма составляет приблизительно 2 ч., конечный $T_{1/2}$ составляет примерно 24 ч.).

Далее оценивалась эффективность введения препарата «Гонал-Ф». Из 5 инъецированных особей лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*) у 2 особей спустя 2 часа 30 минут отмечено наличие эффекта: микроскопически – выявление множества активно-подвижных сперматозоидов в клоакальной жидкости лягушек. У оставшихся особей (троих) не было выявлено признаков созревания. Причиной такого результата послужила малая доза препарата, которая не привела к созреванию гонад.

Таким образом, к ходе первой части эксперимента была отмечена безопасность препарата «Гонал-Ф», наличие эффекта от инъекции и минимальная доза для стимуляции.

Таблица 1

Результат воздействия препарата «Гонал-Ф» на самцов озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*)

Доза 1, МЕ	Δt_1 , ч	Результат	Доза 2, МЕ	Δt_2 , ч	Результат
12,5	2,5	-	12,5	20	-
25		-	12,5		-
37,5		-	12,5		-
50		+	12,5		+
62,5		+	12,5		+

Δt – разница между временем инъекции и фиксированием результата.

Вторая часть эксперимента, проведенная на особях карася серебряного (*Carassius gibelio*), оценивала зависимость эффекта от дозы инъецируемого препарата. Оценка эффективности проводилась на основании классификации зрелости гонад рыб [4].

Вторая часть эксперимента состояла из четырех этапов исследования. В ходе первого использовалась минимальная доза препарата, которая вызвала эффект у особей лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*). Положительный эффект отметили через сутки у всех особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) (табл. 2). Для сравнительной оценки зрелости гонад проведено препарирование инъецированной и неинъецированной особи карася серебряного (*Carassius gibelio*) (рис. 1, рис. 2)

Таблица 2
Результат воздействия препарата «Гонал-Ф» на особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) 12–14

Вес, г.	Доза, мл	Результат	Δt , ч.
20	0,084	+	24
14	0,058	+	24
10	0,042	+	1

Δt – разница между временем инъекции и фиксированием результата.



Рис. 1. Препарированный неинъекцированный самец карася серебряного (*Carassius gibelio*).



Рис. 2. Препарированный инъекцированный самец карася серебряного (*Carassius gibelio*).

Во время следующего этапа второй части исследования проводилось корректирование и подбор дозы «Гонал-Ф» для получения стойкого эффекта от стимуляции препаратом. Использовались четыре представителя карася серебряного (*Carassius gibelio*). В результате один самец (наличие текучих молок) и одна самка (наличие созревшей икры) проявили положительный эффект в ответ на инъекцию препарата. У двух самок карася серебряного (*Carassius gibelio*) не выявлено

видимых признаков зрелости гонад (табл. 3). Однако у одной из самок без видимых признаков созревания гонад во время препарирования обнаружено, что «Гонал-Ф» стимулировал созревание гонад (гонады находились в IV стадии развития).

Таблица 3
Результат воздействия препарата «Гонал-Ф» на особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) 20–23

Пол	Вес, г.	Доза, мл	Результат	Δt , ч.
самка	16	0,067	+	2
самец	16	0,067	+	24
самка	16	0,067	-	48
самка	25	0,105	-	48

Δt – разница между временем инъекции и фиксированием результата.



Рис. 3. Препарированные самки карася серебряного (*Carassius gibelio*): сверху – неинъекционная, снизу – инъекционная.

В ходе четвертого этапа исследования оценивалась эффективность воздействия препарата «Гонал-Ф» оценивался временной интервал, необходимый для созревания гонад в ответ на стимуляцию. Исследование проводилось на двух самцах и семи самках карася серебряного (*Carassius gibelio*). Оба самца отреагировали положительно, но с разным интервалом времени. У одного из самцов видимые признаки созревания гонад были выявлены спустя сутки после инъекции.

Второй самец проявил наличие эффекта стимуляции на вторые сутки после инъекции «Гонал-Ф». Три самки также проявили наличие положительного эффекта: у двоих отмечалось наличие икры на вторые сутки от введения препарата, у одной – на третьи. Четыре самки не показали наличия эффекта созревания репродуктивной системы даже спустя 72 часа после инъекции (табл. 5).

Таблица 4
Результат воздействия препарата «Гонал-Ф» на особей карася серебряного
(Carassius gibelio) 16–18

Пол	Вес, г.	Доза, мл	Δt, ч.	Результат
самка	25	0,105	24	+
самка	20	0,084	24	+
самка	16	0,067	24	+
самка	16	0,067	24	-
самец	16	0,67	24	-
самка	13	0,055	24	-

Δt – разница между временем инъекции и фиксированием результата.

В следующих опытах, где тестировали препарат на двух самцах и семи самках, оба самца отреагировали положительно, но с разным интервалом. Первый показал признаки созревания уже через сутки после инъекции Гонал-Ф, другой – на следующий день. Три самки также ответили положительно. От них была получена икра. Две особи созрели на вторые сутки после инъекции Гонал-Ф, третья – на третий день. Другие самки не показали видимых признаков созревания даже после 72 часов введения препарата (табл. 5).



Рис. 4. Препарированная неинъекцированная самка карася серебряного (*Carassius gibelio*).



Рис. 5. Препарированная инъекцированная самка карася серебряного (*Carassius gibelio*).

Таблица 5

Результат воздействия препарата «Гонал-Ф» на особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) 02-06

Пол	Вес, г	Доза, мл	Δt , ч	Результат
самка	33	0,139	48	+
самка	29	0,122	48	+
самец	23	0,097	24	+
самец	19	0,080	48	+
самка	13	0,055	72	-
самка	12	0,050	72	-
самка	12	0,050	72	-

Δt – разница между временем инъекции и фиксированием результата.

В результате проведенной второй части научно-исследовательского эксперимента установлено, что на гормональную стимуляцию препаратом «Гонал-Ф» ответили наличием положительного эффекта 12 особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) и 10 особей не отреагировали на инъекцию, что в процентном соотношении составило 55 % и 45 % соответственно (рис. 6).

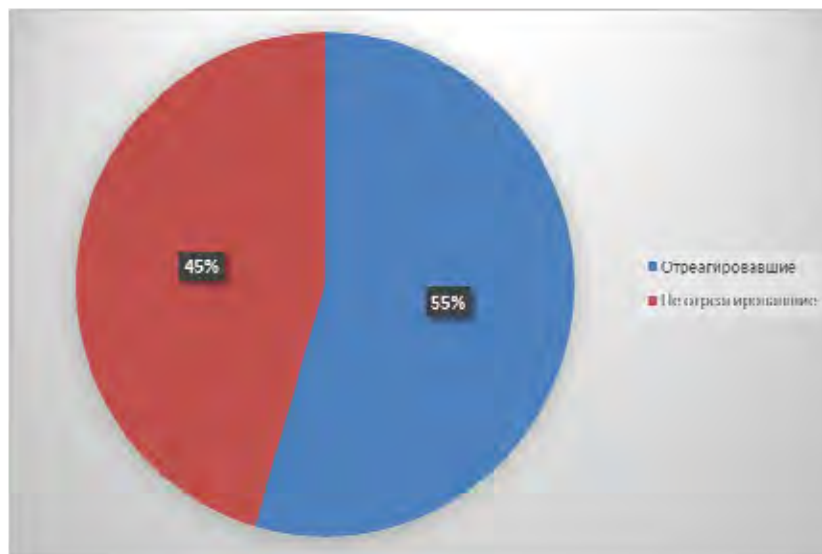


Рис. 6. Эффективность инъекции препаратом «Гонал-Ф» у особей карся серебряного (*Carassius gibelio*).

Также необходимо отметить, что наличие эффекта от стимуляции различалось среди популяции самок и самцов, так, у самок положительно отреагировали 7 особей, что составило 44 % (рис. 7), у самцов – 5 особей, что составило 83 % (рис. 8).

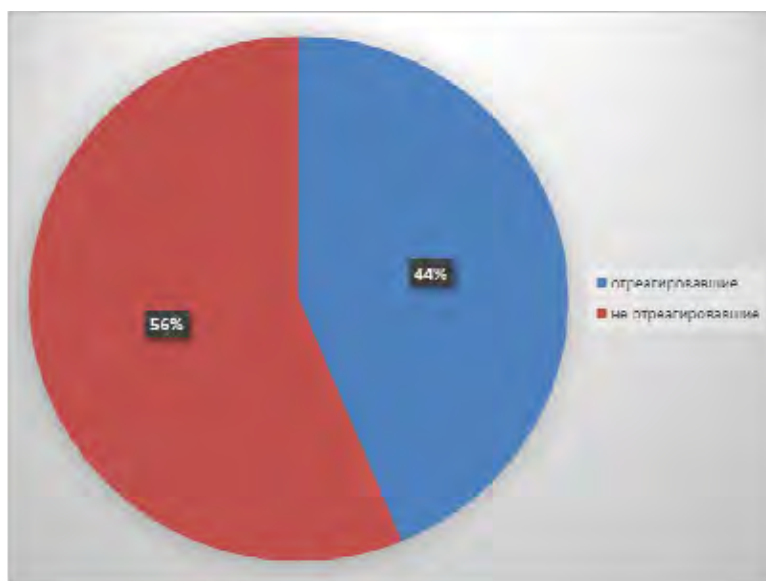


Рис. 7. Эффективность инъекции препаратом «Гонал-Ф» у самок карся серебряного (*Carassius gibelio*).

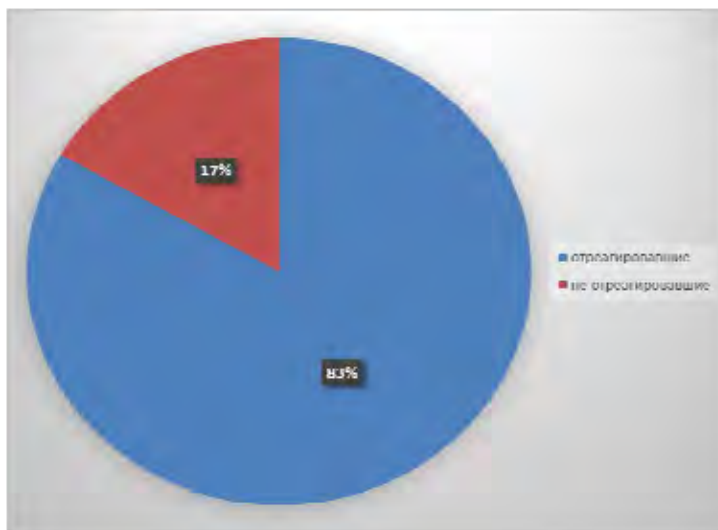


Рис. 8. Эффективность инъекции препаратом «Гонал-Ф» у самцов карася серебряного (*Carassius gibelio*).

Полученные данные были сведены в сравнительную таблицу с оценкой достоверности полученных результатов путем расчета t-критерия Стьюдента (табл. 6). Полученный t-критерий Стьюдента не превосходит критическое значение, и нулевая гипотеза не опровергается, что говорит о статистической значимости результатов исследования (P менее 0.05).

Таблица 6

Результаты воздействия препарата «Гонал-Ф» на особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) среди популяции самок и самцов с оценкой достоверности по t-критерию Стьюдента

Пол карасей	Отреагировали	Не отреагировали	Всего
Самцы	5	1	6
Самки	7	9	16
Всего	12	10	22

Таким образом, препарат «Гонал-Ф» оказывает прямой дозозависимый эффект на репродуктивную систему рыб. Этот факт был выяснен в ходе эксперимента. Установлено, что большая половина инъекцированных особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) отреагировала наличием положительных признаков созревания гонад (55 %).

Перспективно планируется продолжить текущий научно-исследовательский эксперимент для установления минимально эффективной дозы инъекции; выяснить причины отсутствия признаков созревания гонад у инъекцированных особей; определить условия повышения количества ответивших особей в ответ на

стимуляцию препаратом; исследовать воздействие «Гонал-Ф» на репродуктивную систему других представителей рыб, а также внедрить данный препарат в аквакультуру как безопасный и эффективный в применении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. «Гонал-Ф» является безопасным для гормональной стимуляции у особей лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*) и карася серебряного (*Carassius gibelio*). Установлено, что превышение дозы не приводило к появлению текущих и отдаленных побочных последствий, в т. ч. гибели особей.
2. «Гонал-Ф» оказывает эффект на репродуктивную систему земноводных. Отмечена реакция сперматогенеза в ответ на введение препарата самцам лягушки озерной (*Pelophylax ridibundus*).
3. «Гонал-Ф» оказывает эффект на репродуктивную систему рыб: 55 % особей карася серебряного (*Carassius gibelio*) ответили положительным эффектом в виде созревания гонад в ответ на введение препарата.
4. «Гонал-Ф» стимулирует созревание гонад у самцов и самок с одинаковой эффективностью для 1 %-го уровня значимости ($t\phi < t_{st} - 1.63 < 2.85$ соответственно).

Список литературы

1. Подушка С. Б. Раунатин усиливает действие сурфагона на производителей стерляди / С. Б. Подушка // Осетровое хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 16–25.
2. Основные результаты испытаний препаратов серии «Нерестин» при искусственном воспроизводстве рыб в 2006 году / В. А. Коваленко, Д. П. Лисник, И. В. Никишкин [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2006. – № 12. – С. 15–30.
3. Подушка С. Б. Тестирование передней и задней долей гипофизов сазана и осетровых на самцах озерной лягушки / С. Б. Подушка, С. Н. Куриличев // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. – 1987. – № 262. – С. 63–65.
4. Корниенко Г. Г. Гистологические методы мониторинга гаметогенеза и репродуктивного качества рыб / Г. Г. Корниенко, Л. А. Бугаев // Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне, Краснодар. – 2005. – С. 266–291.

INFLUENCE OF "GONAL-F" PREPARATION ON THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF THE FROZEN OZENYOY (*PELOPHYLAX RIDIBUNDUS*) AND CARASHI SILVER (*CARASSIUS GIBELIO*)

Tkacheva N. U., Islyamova E. U., Podoprighora V. N.

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

The intensity of development of fishing industry in the modern world demands acceleration of process of maturing of reproductive system of fishes and obtaining larger

quantity of sexual products what to become possible thanks to innovative achievements in the field of biology and pharmacology.

Manifesting of fishes and amphibiouses is regulated gipotalamo - hypophysial and gonadal neuroendocrinal system. As a rule, medicines which influence gipotalamo-hypophysial-gonadal system are hormonal. The effect caused by hormonal medicines at fishes and Amphibia directly depends on an injected dose. Slight deviations in a necessary dose of medicine can cause an imbalance in gipotalamo-hypophysial-gonadal system with loss of ability to realization of reproductive function, to synthesis of sexual products and even to death of an organism. Therefore a task is searching of efficient and safe medicine today. As such hormonal medicine in the presented research Gonal-F – recombinant follicle-stimulating hormone is offered.

In fish breeding estimate effectiveness of hormones by their opportunity to cause a spermatation in males of a lake frog of *Pelophylax ridibundus* [3]. In the real work the possibility of this medicine to stimulate maturing of sexual products at males of a frog of lake (*Pelophylax ridibundus*), at males and females of a crucian of silver (*Carassius gibelio*), its effectiveness, safety and also possible consequences of overdose with medicine was checked.

It was found out that Gonal-F renders effect on the reproductive system of amphibiouses. Reaction of a spermatogenesis in response to medicine introduction to males of a frog of lake (*Pelophylax ridibundus*) is noted. Reacted with existence of positive signs of maturing of gonads individuals of a crucian of silver (*Carassius gibelio*). 55 % of the injected crucians positively responded to effect of medicine. It was noted that Gonal-F stimulates maturing of gonads at males and females with identical effectiveness. At the same time medicine has the weak physiological effect. It is established that excess of a dose did not lead to emergence of the current and remote secondary consequences, including death of individuals.

Keywords: aquaculture, Gonal-F, hormonal stimulation, sex products.

References

1. Podushka S. B. Raunatin strengthens action of a surfagon on producers of a sterlet, *Sturgeon economy*, **4**, 16 (2010).
2. Kovalenko V. A., Lisnik D. P., Nikishkin I. V. [etc.], The main test data of medicines of the Nerestin series at simulated reproduction of fishes in 2006, *Fish breeding and fishery*, **12**, 15 (2006).
3. Podushka S. B., Kurilichev S. N. Testing by a forward and back share of hypophyses of a sazan and sturgeon on males of a lake frog, *the Collection of scientific works of GOSNIORH.*, **262**, 63 (1987).
4. Korniyenko G. G., Bugaev L. A. Histologic methods of monitoring of a gametogenesis and reproductive quality of fishes, *Methods of fishery and nature protection researches in the Azovo-Chernomorsky pool*, 266 (Krasnodar, 2005).

УДК 591.5:612.821.4

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ
НАРУШЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ДВУХНЕДЕЛЬНОЙ АЛКОГОЛИЗАЦИЕЙ, У
САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА С УЧЕТОМ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

Фролова Г. А.

*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк, Украина
E-mail: gal_alex_frolova@mail.ru*

В экспериментах на молодых и старых самцах белых крыс исследовали поведенческие эффекты двухнедельной алкоголизации с учетом индивидуально-типологических особенностей животных. Установлено, что введение этанола в течение 14 дней приводит к увеличению показателя депрессивности в тесте Порсолта у молодых самцов с исходно низким (в 7,4 раза) и средним (в 3,8 раза) уровнем депрессивности и не влияет на показатель депрессивности у старых крыс. Показано разнонаправленное влияние этанола на проявления эмоциональности самцов разного возраста. Выявлен анксиогенный эффект в приподнятом крестообразном лабиринте у молодых самцов с исходно низким и средним уровнем депрессивности и индуцирование депрессивно-подобного состояния у низкодепрессивных старых животных. Кроме того, установлено значительное угнетение исследовательской активности в открытом поле как у старых, так и у молодых животных, независимо от их индивидуальных особенностей, в 2,8–5,7 раз и отсутствие выраженного влияния алкоголизации на двигательную активность самцов.

Ключевые слова: депрессивность, тревожность, исследовательская активность, эмоциональность, этанол.

ВВЕДЕНИЕ

Пристрастие к этанолсодержащим веществам – алкоголизм – является общемировой проблемой. Патогенез этого заболевания весьма сложен и остается до конца не выясненным. Этанол оказывает свое пагубное влияние на организм не только как вещество, нарушающее функционирование висцеральных систем [1–5], но и как агент, весьма грубо вмешивающийся в химизм нейрофизиологических процессов [6–10], лежащих в основе формирования психоэмоционального состояния животного организма. Последнее находит отражение в изменении функционирования нейромедиаторных моноаминергических систем мозга [11–13], что способствует развитию двигательных [14, 15], тревожных [2, 16] и депрессивных [7, 10, 17] расстройств. Иначе говоря, в реализации эффектов этанола оказываются задействованы эмоциогенные зоны головного мозга. Это в конечном итоге отражается на психоэмоциональном состоянии организма в целом, поскольку патофизиологической основой развития указанных расстройств является нарушение моноаминовой медиации в головном мозге.

Вместе с тем в литературе редко встречаются данные, касающиеся особенностей индивидуальной чувствительности к этанолсодержащим веществам и вклада возрастного аспекта организма в индивидуальные эффекты этанола [18, 19]. Установление этих зависимостей позволило бы более эффективно подобрать способ коррекции различного рода расстройств в психоэмоциональной сфере, которые развиваются на фоне длительного приема алкоголя.

В связи с вышесказанным *целью представленной работы* явилась оценка индивидуальной чувствительности к двухнедельному введению этанола у молодых и старых животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент выполнен на двух группах половозрелых беспородных крыс-самцов – 40 животных массой 100–120 г (молодые, возраст 3 месяца) и 40 животных массой 360–420 г (старые, возраст 23–25 месяцев), содержащихся в стандартных условиях вивария (световой режим 12/12, свободный доступ к еде и питью). Все исследования выполнялись в соответствии с «Руководством по уходу и использованию лабораторных животных» (публикация Национального института здоровья № 85–23, США) и «Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [20]. Поведенческие исследования производились в первой половине дня. Для оценки показателей поведения, отражающих психоэмоциональное состояние животных, использовалась батарея стандартных поведенческих тестов.

Поведенческую активность лабораторных крыс оценивали в открытом поле (ОП) [21] по количеству пересеченных квадратов (двигательная активность) и по суммарному количеству вертикальных стоек и заглядываний в отверстия-норки (исследовательская активность) за 5 минут тестирования. Кроме того, фиксировалось груминговое поведение (количество актов груминга).

Открытое поле представляет собой открытый пластиковый ящик размером 60×60 см. и высотой 40 см. Пол ОП приподнят над дном ящика на высоту 3 см и разделен тонкими белыми линиями на 9 равных квадратиков (20×20 см) по периметру которых просверлены отверстия-норки диаметром 3 см. Животное в процессе тестирования опускалось в центр поля, после чего в течение 5 минут регистрировались описанные выше поведенческие реакции. После каждого животного камера протиралась изнутри мокрыми и сухими салфетками, а также дезодорировалась раствором этилового спирта.

Тревожность подопытных животных определялась в приподнятом крестообразном лабиринте (ПКЛ) [22] по суммарному времени пребывания крысы на открытом пространстве лабиринта (открытые рукава и центральная площадка) за 5 минут тестирования, частоте повторных выходов на него и частоте выглядываний из закрытых рукавов.

Приподнятый крестообразный лабиринт – приподнятая на опоре-ножке на 80 см над уровнем пола крестовина, имеющая два открытых, два закрытых рукава шириной 10 см и центральную площадку в месте пересечения рукавов (10×10 см). Лабиринт сконструирован из пластика, окрашенного в черный цвет. При

тестировании крысы плавно опускались в центр лабиринта носом в открытый рукав, где визуально регистрировалось их поведение. После каждого животного установка протиралась изнутри мокрыми и сухими салфетками, а также дезодорировалась раствором этилового спирта.

Депрессивность животных оценивали в тесте Порсолта [20] по суммарному времени неподвижности самцов и количеству периодов полной неподвижности в течение 6 минут тестирования. Об эмоциональности животных судили по количеству фекальных боллюсов.

При тестировании крыс опускали в стеклянный цилиндр емкостью 20 литров и высотой 30 см, наполненный водой ($t=27-28^{\circ}\text{C}$) и фиксировали описанные выше показатели поведения.

Для учета индивидуально-типологических отличий лабораторных животных разработаны методики поведенческого фенотипирования, которые основаны на комплексной оценке поведенческих характеристик животных, отражающих не только моторно-двигательные реакции животных, но и особенности эмоционально-психической сферы [23, 24]. Такой подход позволяет более точно исследовать индивидуальную чувствительность лабораторных животных к тем или иным воздействиям. Физиологическую основу индивидуально-типологических отличий в психоэмоциональной сфере определяют, по мнению ряда авторов [23, 25, 26], отличия в биохимических процессах, протекающих в разных отделах мозга.

По результатам исходного (контрольного) тестирования в батарее тестов исходная группа крыс была разделена на три подгруппы в соответствии с проявленным уровнем депрессивности в тесте Порсолта.

Алкоголизацию моделировали путем двухнедельного введения 10%-ного раствора этанола из расчета 2 г/кг [27]. После крысы проходили повторное тестирование в батарее описанных тестов.

Исходную группу крыс разделяли на подгруппы согласно сигмальному отклонению [25]. Обработка первичных данных производилась с использованием пакета программ Statistica 6.0. Поскольку нормальность распределения в тесте Колмогорова – Смирнова не подтвердилась, для работы были использованы непараметрические методы математической статистики (U-критерий Манна – Уитни для независимых переменных). Принятый уровень значимости составлял 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В протестированных группах животных разного возраста в контрольных условиях высокий уровень депрессивности показали 12 молодых и 14 старых особей (30 и 35 % от исходной группы крыс), средний – 10 молодых и 14 старых (25 и 35 % особей) и низкий – 18 молодых и 12 старых (45 и 30 % особей) крыс. Контрольное (исходное) тестирование показало, что экспериментальные животные отличаются не только по ряду поведенческих характеристик внутри выделенных подгрупп с определенным уровнем депрессивности, но имеют место и возрастные отличия животных, характеризующихся одинаковым депрессивным статусом (табл. 1).

Как видно из данных, представленных в таблице, старым самцам свойственны

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ...

большие ($p < 0,05$), нежели молодым животным соответствующих подгрупп, значения показателей депрессивности в тесте Порсолта – суммарного времени неподвижности (в 2,3–2,9 раза [$p < 0,05$]) и количества периодов замираний (в 4,3–4,9 раза [$p < 0,05$]), а также эмоциональности (в 1,8–2,3 [$p < 0,05$]). При этом у молодых животных по показателю эмоциональности достоверных отличий между подгруппами выявлено не было, а у старых самцов минимальная эмоциональность была выявлена у низкодепрессивных крыс.

Таблица 1
Показатели поведения у животных в исходных условиях ($\bar{X} \pm m$)

Поведенческие показатели	Возраст	Уровни депрессивности		
		низкий	средний	высокий
Результаты тестирования в тесте Порсолта				
Время неподвижности, с.	молодые	13,0±0,76 [#]	23,4±1,85	46,7±1,81 ^{#*}
	старые	30,0±8,84 ^{#*}	67,5±10,17 [*]	118,0±6,18 ^{#*}
Общее количество периодов неподвижности	молодые	3,7±0,17 [#]	5,0±0,78	8,2±0,60 ^{#*}
	старые	16,0±1,20 ^{#*}	24,5±2,40 [*]	35,0±0,82 ^{#*}
Количество фекальных болюсов	молодые	2,6±0,53	3,0±0,55	4,0±0,86
	старые	4,7±0,92 ^{#*}	7,0±0,82 [*]	7,5±0,29 [*]
Результаты тестирования в приподнятом крестообразном лабиринте				
Открытые рукава, с.	молодые	58,3±12,6 [#]	99,8±21,94	22,2±11,63 ^{#*}
	старые	120,7±71,36 [*]	122,0±28,03	137,5±37,99 [*]
Количество выходов в открытое пространство	молодые	1,6±0,29 [#]	2,2±0,20	0,7±0,34 ^{#*}
	старые	1,7±0,69	2,5±0,29	2,0±0,41 [*]
Количество выглядываний из закрытых рукавов	молодые	1,7±0,17	1,4±0,25	0,8±0,31 [*]
	старые	5,7±1,39 [*]	6,0±1,78 [*]	3,5±0,96 [*]
Результаты тестирования в открытом поле				
Исследовательская активность	молодые	13,4±1,59	15,6±2,08	11,5±1,79
	старые	8,3±0,92 ^{#*}	17,5±3,93	7,0±1,08 ^{#*}
Двигательная активность	молодые	15,8±2,21 [#]	23,2±3,23	14,0±1,58 [#]
	старые	4,3±1,51 ^{#*}	16,8±4,25	5,5±1,50 ^{#*}
Количество актов груминга	молодые	1,7±0,62	1,6±0,25	1,2±0,84
	старые	2,3±1,39	2,3±0,75	3,8±1,55

– различия статистически значимы в сравнении показателей условного контроля (средний тип выраженности показателей поведения) с группами высокого и низкого типа показателей поведения;
* – различия статистически значимы при сравнении показателей группы с крайними типами выраженности показателей поведения; ♦ – различия статистически значимы при сравнении показателей поведения старых и молодых крыс в пределах выделенных подгрупп.

Аналогичным образом в приподнятом крестообразном лабиринте старым самцам с исходно разной депрессивностью свойственны большие численные значения показателя, отражающего тревожное поведение (суммарное время пребывания на открытом пространстве лабиринта и количество выглядываний из

закрытых рукавов), чем молодым самцам соответствующих подгрупп. При этом между собой численные значения данных показателей у старых крыс не отличаются. Т. е. уровень тревожности у старых самцов не зависит от уровня их депрессивности. Вместе с тем у высокодепрессивных молодых самцов выявлен максимальный уровень тревожности, а у среднедепрессивных – минимальный.

В открытом поле степень выраженности исследовательского поведения у молодых самцов с разным уровнем депрессивности не имела достоверных отличий, в то время как у старых крыс максимальные показатели исследовательской активности наблюдались у среднедепрессивных животных. Наибольший уровень двигательной активности был свойственен среднедепрессивным самцам (как молодым, так и старым).

По мнению многих исследователей [24, 25, 28–30], в основе физиологических механизмов отличий поведенческих характеристик, отражающих психоэмоциональное состояние животных, лежат различия в степени активности мозговых структур, являющихся нейрофизиологическим базисом депрессивности, тревожности и поведенческой активности. В частности, авторы указывают на различия в функционировании моноаминергических нейромедиаторных систем (серотонин-, дофамин- и норадренергической систем), которые вносят значительный вклад в формирование эмоциональных сфер поведенческих реакций организма.

Отличия, установленные в степени проявления тех или иных показателей поведения у животных разного возраста, могут быть обусловлены, по мнению исследователей [31, 32], тем, что функциональная активность моноаминергических систем в молодом и старческом возрасте существенно различается. Так, в частности, Федотова Ю. О. и Масалова О. О. установили, что кругооборот дофамина и серотонина в гипоталамусе старых крыс достоверно превышает таковой у молодых животных, а концентрация данных медиаторов у старых крыс понижена; в миндалине старых самцов установили повышение обмена норадреналина и метаболитов моноаминов [31]. Учитывая, что перечисленные медиаторы являются ключевыми в реализации таких психоэмоциональных характеристик, как депрессивность, тревожность и поведенческая активность, то не вызывает сомнений тот факт, что именно возрастные изменения обмена данных веществ и являются причиной установленных отличий между животными.

Следующий этап исследования был посвящен изучению особенностей влияния двухнедельной алкоголизации на поведенческие реакции молодых и старых самцов белых крыс в батарее тестов, отличающихся по уровню депрессивности.

Прежде всего, обращает на себя внимание тот факт, что молодые животные оказались более чувствительными к действию этанола, чем старые крысы (табл. 2).

Так, в тесте Порсолта у старых самцов всех выделенных подгрупп не установлено изменений показателя депрессивности – суммарного времени иммобилизации, в то время как у молодых животных с исходно низким и средним уровнем депрессивности наблюдалось увеличение численных значений данного показателя в 7,4 ($p < 0,05$) и 3,8 ($p < 0,05$) раза соответственно. Увеличение депрессивности у молодых самцов данных подгрупп, индуцированное алкоголизацией, подтверждается и увеличением количества периодов

неподвижности в 3–4 раза ($p < 0,05$). Кроме того, обращает на себя внимание разнонаправленный характер реакции на этанол лабораторных крыс разного возраста в плане изменения эмоциональности: у молодых животных алкоголизация привела к увеличению эмоциональности в 2–3,5 раза ($p < 0,05$), в то время как у старых самцов данный показатель снижался в среднем в 2 раза ($p < 0,05$).

Реакция низкодепрессивных самцов разного возраста на этанол в открытом поле была однонаправленной и выражалась в угнетении исследовательской активности у всех исходных подгрупп самцов (в 2,8–3,3 раза, $p < 0,05$) у молодых и в 2,8–5,8 раза ($p < 0,05$) у старых крыс, двигательной активности у низкодепрессивных молодых (в 1,8 раза, $p < 0,05$) и среднедепрессивных старых (в 3,7 раза, $p < 0,05$) животных и груминговой активности у всех старых ($p < 0,05$) и низкодепрессивных молодых ($p < 0,05$) крыс (после алкоголизации груминга у перечисленных подгрупп не наблюдалось в принципе). Кроме того, у старых самцов независимо от их исходного уровня депрессивности полностью угнеталась груминговая активность ($p < 0,05$). Молодые животные по данному показателю в основном чувствительности к этанолу не проявили. Исключение составила подгруппа низкодепрессивных молодых крыс, у которых после введения этанола груминговое поведение не фиксировалось.

Наиболее разнопланово этанол повлиял на показатели тревожности разновозрастных самцов в приподнятом крестообразном лабиринте. Так, если низкодепрессивные молодые самцы в ответ на алкоголизацию выявили анксиогенный эффект, проявляющийся в сокращении времени пребывания на открытом пространстве лабиринта в 4,3 раза ($p < 0,05$), то старые самцы данной подгруппы при размещении на центральную платформу лабиринта в процессе проведения исследований оставались неподвижными на протяжении всех 5 минут тестирования. Данный факт свидетельствует о развитии у последних депрессивно-подобного состояния на фоне алкоголизации. Этот вывод подтверждается и увеличением показателя депрессивности у животных данной подгруппы в тесте Порсолта. Среднедепрессивные самцы разного возраста показали разнонаправленную реакцию на введение этанола: у молодых самцов наблюдалось увеличение тревожности (на открытое пространство они не выходили вовсе), а у старых имела место тенденция к некоторому сокращению проявлений тревожности (в 1,9 раза [$p < 0,05$]), однако дисперсия данных в последнем случае была достаточно высока. Вместе с тем численные значения таких показателей тревожного поведения в ПКЛ, как количество повторных выходов на открытое пространство лабиринта и частота выглядываний из его закрытых рукавов, у всех подгрупп старых самцов были значительно угнетены, что свидетельствует и в пользу нарушений систем, принимающих участие в регуляции двигательной активности лабораторных животных на фоне введения этанола. У молодых самцов сокращение частоты повторных выходов на открытое пространство лабиринта подтверждает анксиогенный эффект алкоголизации, в то время как частота выглядываний из закрытых рукавов менялась разнонаправленно.

Таблица 2
Характер изменения показателей поведения молодых (м) и старых (с) самцов
белых крыс после двухнедельной алкоголизации (X±m)

Поведенческие показатели	Возраст	Уровни депрессивности					
		низкий		средний		высокий	
		контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Результаты тестирования в тесте Порсолта							
Время неподвижности, с.	молодые	13,0±0,76	96,6±2,35*	23,4±1,85	88,6±8,74*	46,7±1,81	47,0±11,06
	старые	30,0±8,84	45,3±9,19	67,5±10,17	78,0±12,25	118,0±6,18	115,8±13,65
Общее количество периодов неподвижности	молодые	3,7±0,17	15,3±0,52*	5,0±0,78	15,8±1,21*	8,2±0,60	8,3±1,24
	старые	16,0±1,20	18,0±3,34	24,5±2,40	26,0±2,68	35,0±0,82	30,8±1,49*
Количество фекальных болюсов	молодые	2,6±0,53	9,0±0,50*	3,0±0,55	8,2±0,92*	4,0±0,86	7,7±0,56*
	старые	4,7±0,92	3,3±0,92	7,0±0,82	4,5±0,96*	7,5±0,29	3,3±0,63*
Результаты тестирования в приподнятом крестообразном лабиринте							
Открытые рукава, с.	молодые	58,3±12,6	13,6±6,73*	99,8±21,94	0,0*	22,2±11,63	37,0±7,85
	старые	120,7±71,36	300,0±0,00*	122,0±28,03	231,0±54,99*	137,5±37,99	219,0±53,12
Количество выходов в открытое пространство	молодые	1,6±0,29	0,7±0,23*	2,2±0,20	0,0*	0,7±0,34	0,8±0,31
	старые	1,7±0,69	0,0*	2,5±0,29	1,0±0,00*	2,0±0,41	0,5±0,29*
Количество выглядываний из закрытых рукавов	молодые	1,7±0,17	0,8±0,28*	1,4±0,25	2,4±1,04	0,8±0,31	2,2±0,47*
	старые	5,7±1,39	0,0*	6,0±1,78	0,0*	3,5±0,96	0,0*
Результаты тестирования в открытом поле							
Исследовательская активность	молодые	13,4±1,59	4,1±0,98*	15,6±2,08	5,6±1,37*	11,5±1,79	3,7±1,12*
	старые	8,3±0,92	3,0±0,60*	17,5±3,93	3,0±0,41*	7,0±1,08	1,8±1,03*
Двигательная активность	молодые	15,8±2,21	8,6±1,29*	23,2±3,23	16,6±4,22	14,0±1,58	12,7±3,76
	старые	4,3±1,51	4,3±1,93	16,8±4,25	4,5±1,26*	5,5±1,50	3,5±0,65
Количество актов груминга	молодые	1,7±0,62	0,0*	1,6±0,25	1,6±0,25	1,2±0,84	1,2±0,61
	старые	2,3±1,39	0,0*	2,3±0,75	0,0*	3,8±1,55	0,0*

• – различия статистически значимы при сравнении показателей, полученных после алкоголизации, с исходными (контрольными).

Полученные данные касательно угнетения исследовательской активности на фоне введения этанола у самцов разного возраста всех подгрупп депрессивности подтверждают имеющиеся в литературе данные об эффекте алкоголизации на

данную поведенческую характеристику [2, 33]. Вместе с тем отсутствие выраженных изменений в проявлениях двигательной активности в проведенном эксперименте противоречит результатам, полученным в других лабораториях, которые свидетельствуют в пользу сокращения проявлений двигательной активности лабораторных животных, подвергшихся алкоголизации [14, 15, 34]. В то же время имеются данные, хорошо согласующиеся с описанными выше влияниями этанола на характер изменения поведенческой активности лабораторных животных в открытом поле. Так, Гребенюк А. Н. с соавт. [35] показали в своих исследованиях, что при длительном введении этанола в большей степени происходит нарушение исследовательской активности, чем двигательной.

Анксиогенный эффект этанола, отмеченный нами у всех молодых крыс при введении на протяжении 14 дней, хорошо согласуется с данными, полученными ранее [36–38]. Увеличение тревожности у молодых самцов может указывать на снижение уровня нейропептида Y, обладающего противотревожными свойствами [13], а также об изменениях в функционировании дофаминергической системы [11, 12], индуцированными этанолом. Отсутствие подобной реакции у старых самцов может свидетельствовать в пользу возрастных изменений в обмене нейропептида Y, при которых его исходный уровень является сниженным и исходно отличным уровнем обмена дофамина, серотонина, норадреналина и ГАМК, о чем свидетельствуют результаты работы Фетодовой Ю. О. [31], Лелевич С. В. [39] и Золотухина М. М. [40].

Полученный в настоящем исследовании депрессогенный эффект алкоголизации у молодых животных подтверждает полученные ранее результаты других исследователей. В частности, на увеличение суммарного времени неподвижности в тесте Порсолта указывали многие авторы [10, 41, 42]. Причиной подобного влияния этанола на депрессивный статус животного организма, по мнению этих авторов, является его влияние на дофаминергическую систему мозга, которая вовлечена в формирование аффективного состояния. В полученных нами результатах на старых самцах показатели депрессивности достоверно не отличаются от исходных (контрольных) значений.

Таким образом, одним из основных механизмов реализации эффектов этанола на психоэмоциональный статус животного организма является его способность оказывать влияние на рецепторы к моноаминам, в результате чего происходит изменение процессов синтеза и высвобождения медиаторов (преимущественно, дофамина и норадреналина) [43–45], нарушается функциональная активность нейронов в определенных структурах головного мозга, сопровождающаяся гипофункцией дофаминергической системы. Это, в свою очередь, может являться причиной нарушений гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы, приводящих к модуляции выделения АКТГ и увеличению уровня кортикостерона [46].

Отличие в характере изменения некоторых показателей поведения у старых самцов при введении этанола может быть результатом целого ряда процессов, сопровождающих старение организма. Так, подобные эффекты алкоголизации могут быть связаны с такими возрастными нарушениями в функционировании дофаминергической нейромедиаторной системы, как сокращение количества

дофаминпродуцирующих нейронов в мозге. Вместе с тем известно, что с возрастом нарушаются такие нейрометаболические процессы, как синтез медиаторов, их высвобождение и связывание с рецептором [47]. Кроме того, в изменении функционирования мозга могут играть существенную роль цереброваскулярные нарушения, усиливающие нейротрансмиттерную недостаточность и связанные с ней нарушения психоэмоциональной сферы [47, 48].

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о существенных индивидуальных отличиях в чувствительности к длительному введению этанола, что находит свое отражение в разнонаправленных изменениях поведенческих характеристик, отражающих психоэмоциональное состояние животных у крыс, отличающихся не только по исходному уровню депрессивности, но и по возрастным особенностям. Знание особенностей индивидуальной чувствительности к введению этанола позволит более успешно проводить коррекцию нарушений в аффективной сфере, возникающих на фоне алкоголизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Двухнедельная алкоголизация приводит к увеличению показателя депрессивности самцов у молодых с исходно низким и средним уровнем депрессивности, на что указывает достоверное увеличение суммарного времени неподвижности в тесте Порсолта у крыс этих подгрупп в 7,4 и 3,8 раза соответственно. На депрессивное состояние старых самцов длительное введение этанола влияния не оказывает.
2. Введение этанола в течение 14 дней разнонаправлено влияет на уровень эмоциональности крыс разного возраста: эмоциональность молодых самцов увеличивается в 2–3,5 раза независимо от их исходного уровня депрессивности, а старых с исходно средним и высоким уровнем депрессивности – угнетается в 1,5–2,3 раза.
3. Двухнедельная алкоголизация оказывает выраженный анксиогенный эффект в приподнятом крестообразном лабиринте на молодых самцов с исходно низким и средним уровнем депрессивности и индуцирует депрессивноподобное состояние у низкодепрессивных старых животных.
4. Введение этанола в течение 14 дней приводит к угнетению исследовательской активности у животных независимо от их исходного уровня депрессивности и возраста в 2,8–5,7 раз и практически не оказывает влияния на проявления двигательной активности в открытом поле.
5. Груминговая активность у всех старых крыс полностью угнетается 14-дневной алкоголизацией и не изменяется у молодых животных за исключением низкодепрессивных самцов.

Список литературы

1. Анохина И. П. О единстве биологических механизмов индивидуальной предрасположенности к злоупотреблению различными психоактивными веществами / И. П. Анохина, А. Г. Веретинская, Г. Н. Васильева, И. В. Овчинников // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 6. – С. 74–81.

2. Пахомова А. О. Зміна поведінкових реакцій та ліпопероксидних процесів в тканині печінки гостроалкоголізованих щурів при введенні кверцетину протягом 14 діб / А. О. Пахомова, О. А. Коваленко, Т. М. Говоруха, В. М. Бабан, М. Ю. Макарчук // Фізика живого. – 2008. – Т. 16, № 1. – С. 105–110.
3. Шабанов П. Д. Основы наркологии / П. Д. Шабанов – СПб.: Лань, 2002. – 560 с.
4. Мхитаров В. А. Морфофункциональная характеристика щитовидной железы крыс Вистар при длительном потреблении алкоголя в условиях свободного выбора / В. А. Мхитаров, О. В. Макарова // Российский медико-биологический вестник им. академика И. П. Павлова. – 2013. – № 2. – С. 22–29.
5. Кондашевская М. В. Морфофункциональные нарушения аденогипофиза и мужских половых желез при алкоголизме (обзор литературы) / М. В. Кондашевская, В. А. Мхитаров // Клиническая и экспериментальная морфология. – 2012. – № 2. – С. 66–73.
6. Ponizovskiy P. A. Cognitive status and addiction denial in the early stages of alcohol addiction / P. A. Ponizovskiy, A. G. Gofman // European Psychiatry. – 2017. – Vol. 41, suppl. 1. – P. 874.
7. Николишин А. Е. Алкогольная зависимость и депрессия: дофаминовая медиация и ключ к изучению коморбидности / А. Е. Николишин, А. Г. Гофман, А. Ю. Кибитов // Наркология. – 2016. – № 8. – С. 80–87.
8. Levola J. Health-related quality of life in alcohol dependence: a systematic literature review with a specific focus on the role of depression and other psychopathology / J. Levola, M. Aalto, A. Holopainen, A. Cieza, T. Pitkänen // Nordic Journal of Psychiatry. – 2014. – Vol. 68, № 6. – P. 369–384.
9. Pringuey D. Comorbidity of affective disorders and alcohol use disorder / D. Pringuey, F. Cherikh, S. Lunacek, B. Giordana, E. Fakra, R. Belzeaux, M. Adida, J. M. Azorin // L'Encephale. – 2014. – Vol. 40, № 3. – P. 3–7.
10. Getachew B. Alcohol-induced depressive-like behavior is associated with cortical norepinephrine reduction / B. Getachew, S. R. Hauser, R. E. Taylor, Yo. Tizabi // Pharmacol. Biochem. Behav. – 2010. – V. 96 (4). – P. 395–401.
11. Пивоварчик М. В. Участие опиоидной и дофаминовой систем мозга в реализации аддиктивных свойств этанола / М. В. Пивоварчик // Журнал ГГМУ. – 2003. – №4. – С. 3–6.
12. Лебедев А. А. Реакция клеток мезокортиколимбической дофаминергической системы мозга на длительную алкоголизацию у крыс / А. А. Лебедев, А. В. Дробленков, П. Д. Шабанов // Психофармакология и биологическая наркология. – 2008. – Т. 8, № 4. – С. 2453–2456.
13. Сметанин В. А. Влияние этанола на уровень нейропептидов в организме / В. А. Сметанин, Ж. С. Бардинова, О. П. Петрушова, М. Т. Генгин // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2008. – № 10 (14). – С. 49–53.
14. Пурсанов К. А. Влияние гепарина на гиподинамию крыс, вызванную этиловым спиртом / К. А. Пурсанов, А. Е. Хомутов, В. С. Слободенюк, А. В. Бочкарева // Медицинский альманах. – 2009. – № 1 (6). – С. 127–128.
15. Тюренков И. Н. Влияние фенибута на поведение животных в условиях добровольной хронической алкоголизации / И. Н. Тюренков, А. В. Воронков, Л. Е. Бородкина // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2005. – Т. 68, №3. – С. 42–45.
16. Fedotova Yu. O. Blockade of D2 receptor with low dose of 17 β -estradiol corrects depression-like behaviour in female rats / Yu. O. Fedotova, G. A. Frolova // European Neuropsychopharmacology. – 2011. – V. 21 (3). – P. S294–S295.
17. Iezhitsa I. Complex supplementation containing mineral bishofit (MgCl₂·6H₂O) solution and pyridoxine hydrochloride normalises ethanol-induced magnesium depletion and corrects some behavioural disturbances of animals during chronic alcoholisation / I. Iezhitsa, N. Onishchenko, N. Churbakova, V. Parshev, V. Petrov // European Neuropsychopharmacology. – 2002. – V. 12 (3). – P. 426–427.
18. Ахмадеев А. В. Исследование факторов предрасположенности к алкоголизму: сравнительный анализ поведенческих реакций и системы биогенных аминов у предпочитающих и непредпочитающих алкоголь крыс / А. В. Ахмадеев, Л. Б. Калимуллина // Успехи современного естествознания. – 2013. – №1. – С. 35–38.
19. Голоенко И. М. Генетические факторы предрасположенности к алкоголизму / И. М. Голоенко, Н. Г. Даниленко, А. В. Копытов, М. Г. Синявская // Здравоохранение. – 2010. – № 8. – С. 25–28.

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. Буреш Я. Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения / Я. Буреш, О. Бурешова, Д. П. Хьюстон. – М.: Высшая школа, 1991. – 399 с.
22. Kudryavtseva N. Social defeats, depression and anxiety / N. Kudryavtseva // Behavioural Pharmacology. – 1995. – V.6 (1). – P. 59.
23. Амикишиева А. В. Поведенческое фенотипирование: современные методы и оборудование / А. В. Амикишиева // Вестник ВОГиС. – 2009. – Т. 13 (3). – С. 529–542.
24. Sergutina A. V. The effects of L-DOPA on glutamate dehydrogenase activity in the cerebral neurons of rats with different motor activities / A. V. Sergutina // Neurochemical Journal. – 2010. – V.4 (1). – P. 25–29.
25. Шаляпина В. Г. Изменение приспособительного поведения активных и пассивных крыс вistar в водно-иммерсионной модели депрессии / В. Г. Шаляпина, Е. А. Вершинина, В. В. Ракицкая // Журнал ВНД им. И. П. Павлова. – 2006. – № 4. – С. 543–547.
26. Сапронов Н. С. Влияние L-триптофана на условный рефлекс активного избегания у крыс-самцов с повышенным уровнем тестостерона / Н. С. Сапронов, Ю. О. Федотова // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2000. – № 7. – С. 67–69.
27. Индутный А. В. Метаболические предпосылки интолерантности к алкоголю в условиях стресса. Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Индутный А. В. – Омск, 1997. – 22 с.
28. Судаков К. В. Экспериментальные подходы к индивидуальной медицине: зависимость эффектов фармакологического воздействия от характера поведения животных / К. В. Судаков, А. В. Котов, С. С. Перцов // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2004. – № 1. – С. 51–57.
29. McEwen B. S. Steroid Hormone Actions on the Brain: When Is the Genome Involved? / B. S. McEwen // Hormones and Behavior. – 1994. – V.28 (4). – P. 396–405
30. Исмаилова Х. Ю. Индивидуальные особенности поведения (моноаминергические механизмы) / Х. Ю. Исмаилова, Т. М. Агаев, Т. П. Семенова. – Баку: Нурлан, 2007. – 228 с.
31. Федотова Ю. О. Особенности обмена моноаминов в головном мозге молодых и старых гипотиреоидных самцов крыс / Ю. О. Федотова, О. О. Масалова // Нейрохимия. – 2010. – Т. 27, № 1. – С. 25–30.
32. Ещенко Н. Д. Биохимия психических и нервных болезней. Избранные разделы : Учеб. пособие для вузов / Н. Д. Ещенко. – СПб.: Издательство СПбГУ, 2004. – 200 с.
33. Осколок Л. Н. Патолофизиологические аспекты хронического алкоголизма, наркомании и токсикомании / Л. Н. Осколок, А. А. Терентьев // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 10. – С. 340–344.
34. Тригуб М. М. Влияние агонистов опиоидных рецепторов периферического действия на депрессивный эффект этанола / М. М. Тригуб, Н. Г. Богданова, А. А. Колпаков, В. Г. Башкатова, С. К. Судаков // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2013. – Т. 156, № 12. – С. 741–744.
35. Гребенюк А. Н. Экспериментальная оценка нейротоксических эффектов этанола и их коррекция пептидными препаратами / А. Н. Гребенюк, В. Л. Рейнюк, Д. А. Халютин, Е. В. Давыдова, А. А. Ховпачев // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2014. – №3. – С. 70–77.
36. Bondarenko O. V. Effects of N-stearoylethanolamine on anxiety-like behavioral reactions of rats after chronic alcoholization / O. V. Bondarenko, N. M. Hula, M. Yu. Makarchuk, T. M. Horid'ko // Biologija. – 2014. – Vol. 60, № 1. – P. 23–31.
37. Kovalenko O. A. Influence of behavioral reactions on ability to training of rats with different degree of alcoholic motivation / O. A. Kovalenko, E. M. Ovcharyk, O. V. Bondarenko, M. Yu. Makarchuk // Visnyk of Luhansk National Taras Shevchenko University: Medical sciences. – 2010. – 21(208). – P. 54–59.
38. Kushner M. G. The relationship between anxiety disorders and alcohol use disorders: a review of major perspectives and findings / M. G. Kushner, K. Abrams, C. Borchardt // Clin Psychol Rev. – 2000. – V. 20(2). – P. 149–171.
39. Лелевич С. В. Нейромедиаторные нарушения в головном мозге крыс при острой алкогольной интоксикации / С. В. Лелевич, В. В. Лелевич, Е. М. Дорошенко // Нейрохимия. – 2010. – Т. 27, № 2. – С. 159–163.

40. Золотухин М. М. Влияние комбинированного введения L-триптофана и вальпроевой кислоты на показатели гидроксилазного пути обмена триптофана в эпифизе крыс на интактном фоне и при хронической алкогольной интоксикации / М. М. Золотухин, Е. М. Дорошенко, В. Ю. Смирнов // Рецепт. – 2009. – № 1 (63). – С. 60–65.
41. Спасов А. А. Изучение фармакологической активности комплексного магнийсодержащего препарата на основе минерала бишофит и пиридоксина гидрохлорида на модели длительной алкоголизации крыс / А. А. Спасов, В. И. Петров, И. Н. Иежица, Н. В. Онищенко, Н. В. Чурбакова, В. В. Паршев // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2003. – Т. 66, № 5. – С. 40–44.
42. Башкатова В. Г. Введение агониста каппа-опиоидных рецепторов предупреждает изменения двигательной активности и метаболизма крыс, вызванные острым введением этанола / В. Г. Башкатова, С. К. Судаков, М. М. Тригуб, Н. Г. Богданова, А. Колпаков // Академический журнал Западной Сибири. – 2014. – Т. 10, № 1 (50) – С. 57–58.
43. Шабанов П. Д. Психофармакология / П. Д. Шабанов. – СПб.: Элби-СПб, 2008. – 416 с.
44. Семке В. Я. Нейробиологические механизмы алкоголизма / В. Я. Семке, Т. Н. Мельникова, Н. А. Бохан // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2002. – Т. 102 (8). – С. 61–66.
45. Шабанов П. Д. Влияние пептидов, вводимых в центральное ядро миндалины, на самостимуляцию латерального гипоталамуса у крыс при хронической алкоголизации / П. Д. Шабанов, А. А. Лебедев, В. П. Павленко // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2006. – Т. 69 (5). – С. 44–49.
46. Ogilvie K. M. Gender difference in alcohol-evoked hypothalamic-pituitary-adrenal activity in the rat: ontogeny and role of neonatal steroids / K. M. Ogilvie, C. Rivier // Alcohol. Clin. Exp. Res. – 1996. – V. 20 (2). – P. 255–261.
47. Кузьменко В. М. Распространенность и некоторые особенности профилактики цереброваскулярных заболеваний у лиц разного возраста / В. М. Кузьменко // Пробл. старения и долголетия. – 2001. – Т. 10, № 4. – С. 401–409.
48. Бурчинский С. Г. Препараты гинкго в современной стратегии нейропротекции: возможности и перспективы (Обзор литературы) / Бурчинский С. Г. // Український вісник психоневрології – 2011. – Т. 19, вип. 2 (67) – С. 109–115.

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF BEHAVIORAL DISORDERS
CAUSED BY TWO-WEEK ALCOHOLIZATION IN MALES OF WHITE RATS
OF DIFFERENT AGES TAKING INTO ACCOUNT INDIVIDUAL
CHARACTERISTICS**

Frolova G. A.

*Donetsk national university, Donetsk, Ukraine
E-mail: gal_alex_frolova@mail.ru*

Research objective consisted in the studying of the individual sensitivity to two-week administration of ethanol in young and old male rats.

Method. The experiment is executed on two groups of sexually mature rats-males – 40 animals (100–120 g, age 3 months, *young rats*) and 40 animals (360–420 g, age of 23–25 months, *old rats*). The anxiety level of rats was determined in the elevated plus-maze by the total time of stay of the animal in the open space of the maze for 5 minutes of testing and the frequency of repeated outputs on it. Locomotor and exploratory activity, grooming behavior of animals was assessed using open field within 5 minutes. The level of depressiveness of animals was determined using the standard Porsolt test counting the number and total duration of periods of immobilization of the animal. The number of fecal boluses was tried

about emotional animals. After the initial (control) test battery in the above test animals were divided into three subgroups according to the severity of depression in the test of Porsolt. Alcoholism was carried out for 14 days by intraperitoneal injection of a solution of ethanol in a 10 % solution at the rate of 2 g/kg of animal weight, after which the animals were again tested.

Results. It is established that a two-week alcoholization leads to increase of an indicator of depressiveness at males of young rats with initially low and middle level of depressiveness on what specifies the increase of the total time of immovability in the Porsolt test at rats of these subgroups corresponding in 7,4 and 3,8 times. Long ethanol administration doesn't influence on the depression state of the old males.

Ethanol administration within 14 days differently influences on the level of emotionality of rats of different age: the emotionality of young males is increased by 2–3,5 times regardless of their initial level of depressiveness, whereas at old males with initially middle and high level of depressiveness – is decreased by 1,5–2,3 times.

Two-week alcoholization renders the expressed anxiogenic effect in the elevated plus-maze on young males with initially low and middle level of depressiveness and induces the depressive-like state at low-depressive old animals.

Administration of ethanol within 14 days leads to depressing of the exploratory activity at the animals regardless of their initial level of depressiveness and age by 2,8–5,7 times and practically doesn't exert impact on the implications of the locomotors activity in the open field. The grooming activity at all old rats is completely depressing by the 14-day alcoholization and doesn't change at young animals except for low-depressive males.

Conclusion. The sensitivity to long ethanol administration depends of the individual and age features of animal organism: young animals are showing the larger sensitivity to the alcoholization.

Keywords: depressive, anxiety, exploratory activity, emotionality, ethanol.

References

1. Anohina I. P., Veretinskaya A. G., Vasilyeva G. N. The unity of biological mechanisms of individual predisposition to the abuse of various psychoactive substances, *Human physiology*, **26** (6), 74 (2000) (In Russian)
2. Pahomova A. O., Kovalenko O. A., Govoruha T. M., Baban V. M., Makarchuk M. Yu. Change of behavioral reactions and lipoperoxidation processes in liver in strongly alcoholised rats under introduction of quercetin during 14 days, *Physics of the alive*, **16** (1), 105 (2008) (In Ukrainian)
3. Shabanov P. D. *Osnovy narkologii* (Fundamentals of narcology), 560 p. (St. Petersburg: Lan, 2002) (In Russian)
4. Mkhitarov V. A., Makarova O. V. Morphofunctional characteristics of thyroid gland of male wistar rats in case of prolonged alcohol consumption under the conditions of voluntary intake, *Formely I.P. Pavlov Russian medicobiological Proceedings*, **2**, 22 (2013) (In Russian)
5. Kondashevskaya M. V., Mkhitarov V. A. Impaired structure and function of adenohypophysis and male gonads under the conditions of alcoholism (review), *Clinical and experimental morphology*, **2**, 66 (2012) (In Russian)
6. Ponizovskiy P. A., Gofman A. G. Cognitive status and addiction denial in the early stages of alcohol addiction, *European Psychiatry*, **41** (1), 874 (2017).
7. Nikolishin A. E., Gofman A. G., Kibitov A. Yu. Alcohol dependence and depression: dopamine neuromediation as the clue to the study of comorbidity, *Narkology*, **15** (8), 80 (2016) (In Russian)

8. Levola J., Aalto M., Holopainen A., Cieza A., Pitkànen T. Health-related quality of life in alcohol dependence: a systematic literature review with a specific focus on the role of depression and other psychopathology, *Nordic Journal of Psychiatry*, **68** (6), 369 (2014).
9. Pringuey D., Cherikh F., Lunacek S., Giordana B., Fakra E., Belzeaux R., Adida M., Azorin J. M. Comorbidity of affective disorders and alcohol use disorder, *L'Encephale*, **40** (3), 3 (2014).
10. Getachew B., Hauser S. R., Taylor R. E., Tizabi Yo. Alcohol-induced depressive-like behavior is associated with cortical norepinephrine reduction, *Pharmacol. Biochem. Behav.*, **96** (4), 395 (2010).
11. Pivovarchik M. V. Participation of opioid and dopamine systems of the brain in the implementation of the addictive properties of ethanol, *Zhurnal GGMU*, **4**, 3 (2003). (In Russian)
12. Lebedev A. A., Droblenkov A. V., Shabanov P. D. Cell Reaction of the Brain Mesocorticolimbic Dopaminergic System on Chronic Alcoholization in Rats, *Psychopharmacol biol narcol*, **8** (3-4), 2453 (2008). (In Russian)
13. Smetanin V. A., Bardinova Zh. S., Petrushova O. P., Gengin M. T. Influence of ethanol on the level of neuropeptides in the organism. Formely V. G. Belinsky PSPU News, **10** (14), 49 (2008). (In Russian)
14. Pursanov K. A., Homutov A. E., Slobodenuk V. S., Bochkareva A. V. Influence of heparin on rats' hypodynamia caused by ethyl alcohol, *Medical almanac*, **1** (6), 127 (2009). (In Russian)
15. Tyurenkov I. N., Voronkov A. V., Borodkina L. E. Effect of phenibut on the behavior of experimental animals under conditions of voluntary chronic alcoholism, *Russian Journal of Experimental and Clinical Pharmacology*, **68** (3), 42 (2005). (In Russian)
16. Fedotova Yu. O., Frolova G. A. Blockade of D2 receptor with low dose of 17 β -estradiol corrects depression-like behaviour in female rats, *European Neuropsychopharmacology*, **21** (3), 294 (2011).
17. Iezhitsa I., Onishchenko N., Churbakova N., Parshev V., Petrov V. Complex supplementation containing mineral bishofit (MgCl₂·6H₂O) solution and pyridoxine hydrochloride normalises ethanol-induced magnesium depletion and corrects some behavioural disturbances of animals during chronic alcoholisation, *European Neuropsychopharmacology*, **12** (3) 426, (2002).
18. Akhmadeev A. V., Kalimullina L. B. Study of factors predisposition to alcoholism: a comparative analysis of behaviors and biogenic amines in the alcohol-preferring rats and non-preferring rats, *Advances in current natural sciences*, **1**, 35 (2013). (In Russian)
19. Goloenko I. M., Danilenko N. G., Kopytov A. V., Sinyavskaya M. G. Genetic factors of alcohol abuse predisposition, *Healthcare*, **8**, 25(2010) (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 p. (Moscow: Minzdrav RF, ZAO «Grif i K», 2012). (In Russian).
21. Buresh Ja., Bureshova O., Huston D. P. Metodiki i osnovnye jeksperimenty po izucheniju mozga i povedenija (Techniques and the basic experiments for the study of a brain and behavior), 399 p. (Moscow: Higher School, 1991). (In Russian)
22. Kudryavtseva N. Social defeats, depression and anxiety, *Behavioural Pharmacology*, **6** (1), 59 (1995).
23. Amikishieva A. V. Behavioral phenotyping: up-to-date methods and equipment, *Proceedings VOGiS*, **13** (3), 259 (2009). (In Russian)
24. Sergutina A. V. The effects of L-DOPA on glutamate dehydrogenase activity in the cerebral neurons of rats with different motor activities, *Neurochemical Journal*, **4** (1), 25 (2010).
25. Shalyapina V. G., Vershinina E. A., Rakitskaya V. V., Rizhova L. Yu. Alteration of Active and Passive Wistar Rats Adaptive Behavior in Water-Immersion Model of Depression, *I. P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, **36** (4), 543 (2006). (In Russian)
26. Saprionov N. S., Fedotova Yu. O. Effect of L-tryptophan on active avoidance response in male rats with increased testosterone level, *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **129** (7), 67 (2000). (In Russian)
27. Indutnyj A. V. Metabolic prerequisites of intolerance to alcohol in the conditions of a stress. Avtoref. diss. s for a degree of the candidate of medical sciences, 22 p. (Omsk, 1997). (In Russian)
28. Sudakov K. V., Kotov A. V., Pertcov S. S. Experimental approaches to personalized medicine: the dependence of the effects of pharmacological exposure to the nature of animal behavior. *Journal of Ural Medical Academic Science*, **1**, 51 (2004). (In Russian)
29. McEwen B. S. Genome and hormones: gender differences in physiology. Invited review: estrogens effects on the brain: multiple sites and molecular mechanisms, *J. Appl. Physiol.*, **91**, 2785 (2001).

30. Ismailova H. Yu., Agaev T. M., Semenova T. P. *Individual'nye osobennosti povedeniya (monoaminergicheskie mehanizmy)* (Specific features of behavior (monoaminergic mechanisms)), 228 p. (Baky: Nyrlan, 2007). (In Russian)
31. Fedotova Y. O., Masalova O. O. Specific monoamine exchange in the brains of young and aged male rats with hypothyroidism, *Neurochemical Journal*, **4** (1), 19 (2010)
32. Eshenko N. D. *Biohimia psihicheskikh I nervnih bolezney*. Izbrannie razdeli (Biochemistry of psychic and nervous diseases. Chosen sections), 200 p. (St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2004). (In Russian)
33. Oskolok L. N., Terentiev A. A. Pathophysiological aspects of chronic alcoholism, drug addiction and toxicomania, *Fundamental research*, **10**, 340 (2011). (In Russian)
34. Trigub M. M., Bogdanova N. G., Kolpakov A. A., Bashkatova V. G., Sudakov S. K. The influence of agonists of opioid receptors in peripheral actions on the depressive effect of ethanol, *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **156** (12), 741 (2013) (In Russian)
35. Grebenyuk A. N., Reinyuk V. L., Khalyutin D. A., Davydova E. V., Khovpachev A. A. Experimental evaluation of neurotoxic effects of ethanol and their correction by peptide preparations, *Medical-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*, **3**, 70 (2014). (In Russian)
36. Bondarenko O. V., Hula N. M., Makarchuk M. Yu., Horid'ko T. M. Effects of N-stearoylethanolamine on anxiety-like behavioral reactions of rats after chronic alcoholization, *Biology*, **60** (1), 23 (2014).
37. Kovalenko O. A., Kovalenko O. A., Ovcharyk E. M., Bondarenko O. V., Makarchuk M. Yu. Influence of behavioral reactions on ability to training of rats with different degree of alcoholic motivation, *Proceedings of Taras Shevchenko Luhansk National University: Medical sciences*, **21** (208), 54 (2010).
38. Kushner M. G., Abrams K., Borchardt C. The relationship between anxiety disorders and alcohol use disorders: a review of major perspectives and findings, *Clin Psychol Rev.*, **20** (2), 149 (2000).
39. Lelevich S. V., Lelevich V. V., Doroshenko E. M. Neurotransmitter changes in rat brain following acute alcohol intoxication, *Neurochemical Journal*, **4** (2), 137 (2010).
40. Zolotuhin M. M., Doroshenko E. M., Smirnov V. Yu. Influence of the combined introduction of L-tryptophane and valproic acid on indicators of a gidroxicilic way of exchange of tryptophane in an epiphysis of rats on an intact background and at chronic alcoholic intoxication, *Prescription*, **1** (63), 60 (2009) (In Russian)
41. Spasov A. A., Petrov V. I., Iezhitsa I. N., Onishenko N. V., Chubakova N. V., Parshev V. V. Pharmacological activity of a complex magnesium-containing preparation based on mineral bishofit and pyridoxine hydrochloride studied on the model of chronic alcohol intoxication in rats, *Russian Journal of Experimental and Clinical Pharmacology*, **66** (5), 40 (2003). (In Russian)
42. Bashkatova V. G., Sudakov S. K., Trigub M. M., Bogdanova N. G., Kolpakov A. Introduction of agonist the kappa-opioid receptors prevents the changes of physical activity and metabolism of rats caused sharp ethanol introduction, *Academic Journal of Western Siberia*, **10** (1), 57 (2014). (In Russian)
43. Shabanov P. D. *Psihofarmakologija (Psychopharmacology)*, 416 p. (St. Petersburg: Elbi- StP, 2008). (In Russian)
44. Semke V. Ja., Melnikova T. N., Bohan N. A. Neurobiological mechanisms of alcoholism, *Neuroscience and Behavioral Physiology*, **102** (8), 61 (2002). (In Russian)
45. Shabanov P. D., Lebedev A. A., Pavlenko V. P. Effect of peptides introduced into the central nucleus of amygdala on the hypothalamic self-stimulation in chronically alcoholized rats, *Russian Journal of Experimental and Clinical Pharmacology*, **69** (5), 44 (2006). (In Russian)
46. Ogilvie K. M., Rivier C. Gender difference in alcohol-evoked hypothalamic-pituitary-adrenal activity in the rat: ontogeny and role of neonatal steroids, *Alcohol. Clin. Exp. Res.*, **20** (2), 255 (1996).
47. Kuzmenko V. M. Prevalence and some features of prevention the cerebrovascular of diseases at persons of different age, *Problems of aging and longevity*, **10** (4), 401 (2001). (In Russian)
48. Burchinsky S. G. Products of ginko in innovate strategy of neuroprotections and geroprotections (Review), *Ukrainian Proceedings of psychoneurology*, **19** (2), 109 (2011). (In Russian)

УДК 591.1, 57.043, 57.045

ВЛИЯНИЕ УМЕРЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И МЕЖВИДОВУЮ АГРЕССИЮ У КРЫС

Чайка А. В.¹, Шейхаметова Н. Н.^{1,2}, Никитина Ю. О.¹, Рахлев А. А.^{1,3},

Хусаинов Д. Р.¹, Туманянц К. Н.¹

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

²*ГБУЗ РК «Джанкойская центральная районная больница», Джанкой, Республика Крым, Россия*

³*ГБУЗ РК «Феодосийский медицинский центр», детская больница с детской поликлиникой, Феодосия, Республика Крым, Россия*

E-mail: andrew.chajka@yandex.ru

Влияние 21-дневного умеренного электромагнитного экранирования подавляет исследовательское поведение у беспородных крыс-самцов в тесте «реакция на мышь», проявляющееся в снижении количества заглядываний в норки на 43 % ($p < 0,05$) по отношению к контролю и на 53 % ($p < 0,05$) по сравнению с изначальным фоновым уровнем. Паттернов агрессивного поведения выявлено не было, а изменения в показателях социального взаимодействия крыс с мышами – недостоверны.

Ключевые слова: межвидовая агрессия, мурицид, электромагнитное экранирование, исследовательское поведение, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Агрессия – эволюционно древнее поведение, которое является необходимым инструментом, обеспечивающим выживание как конкретной особи, так и вида в целом [1]. Однако это также одна из серьезных проблем здравоохранения, т. к. агрессия является симптомом различных неврологических и психических расстройств у детей и взрослых, в том числе болезни Альцгеймера и других форм слабоумия, шизофрении и черепно-мозговых травм [2]. К тому же проблема агрессии актуальна и в социальном контексте: она стала одним из основных способов выражения противоречий, возникающих как между людьми, группами людей, так и непосредственно в самом обществе [3]. Еще ни одно поколение людей не обошлось без войн, массовых убийств, насилий, грабежей, уничтожения материальных и духовных ценностей [4]. Именно поэтому представляется важным изучение проблемы агрессии, а именно того, каким образом можно предотвратить развитие патологической агрессивности или скорректировать ее [5].

Медико-биологическими исследованиями доказано, что живые организмы не могут нормально функционировать без естественных электромагнитных полей (ЭМП) [6]. В то же время естественное геомагнитное поле (ГМП) в современных

городах претерпевает значительное искажение под действием многочисленных железобетонных конструкций и техногенных ЭМП: возникают локальные гипер- и гипوماгнитные поля, которые оказывают негативное влияние на функционирование живых организмов [7, 8]. В наши дни повышенный интерес к влиянию ослабленного ГМП на организм человека и животных также продиктован стремительным развитием аэрокосмической области и реальной перспективой регулярных космических полетов [9, 10].

Предыдущие исследования нашей лаборатории показали увеличение как внутривидовой, так и межвидовой агрессии под действием 10-дневного умеренного ЭМЭ, которое характеризуется особой ритмической изменчивостью [11–14]. В то же время ряд авторов [10, 15, 16] указывает на целесообразность проведения и более длительных исследований с использованием гипوماгнитной среды для лучшего понимания того, как ЭМЭ воздействует на людей, подверженных хронической экспозиции данного фактора, например, во время космических полетов, нахождения в экранирующих условиях – метро, каюте морских судов, военной технике [17–18]. Поэтому целью нашего исследования является определение влияния 21-дневного ЭМЭ на межвидовую агрессию у крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на 16 белых беспородных крысах-самцах массой 220–250 г с соблюдением принципов биоэтики в соответствии с международными принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей. После того, как у животных зарегистрировали фоновый уровень межвидовой агрессивности и исследовательского поведения, их разделили на две группы: «контроль» и «ЭМЭ» (n=8 в каждой). Затем группа «ЭМЭ» подвергалась 21-дневному умеренному экранированию, ежедневно на протяжении всех 24 часов, кроме тех случаев, когда производилась уборка клеток (раз в неделю во избежание дополнительного стресса) в течение 30 мин. вне зоны действия гипوماгнитной среды. Контрольная группа содержалась в стандартных условиях вивария. На 21 день проводилась повторная регистрация поведения животных.

Поведение крыс оценивали в тесте «реакция на мышь»: животные помещались в противоположные концы круглого «Открытого поля» (97x42 см, «Открытая наука») на 5 мин., в течение которых было произведено видеонаблюдение за контактом экспериментальной крысы с мышью. Регистрировались количество убийств и другие проявления агрессивного поведения, такие как укусы и ношение мыши в зубах, если таковые присутствовали [11, 15]. Дополнительно фиксировалось социальное взаимодействие крысы с мышью: латентный период первой реакции обнюхивания (ОЛП, с.), общее количество обнюхиваний (ОК, шт.), общее время, затраченное на обнюхивания (ОВ, с.), количество актов преследования (ПЕ, шт.) и их общая продолжительность (ПЕ, с.). Также определяли исследовательское поведение крыс по отношению к окружающей обстановке: общее количество стоек (СК, шт.) и заглядываний в норки (НК, шт.).

Ослабление фонового ЭМП достигалось применением экранирующей камеры размером 2х3х2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования V_{DC} , измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для горизонтальной – 20. 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 [14].

Статистическая обработка полученных данных проводилась критериями Манна – Уитни и Вилкоксона для связанных выборок в программе Statistica 10, подсчет и визуализация данных – Noldus Ethovision 12 и GraphPad Prism 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Животные обеих исследуемых групп показали полное отсутствие агрессивного поведения во время фоновой регистрации, отличия по показателям социального взаимодействия и исследовательского поведения недостоверны, за исключением СК: в контроле их количество превышает таковое в группе «ЭМЭ» на 98 % ($p \leq 0,01$) (рис. 1). Таким образом, для текущего исследования влияния ЭМЭ на поведение животных была отобрана достаточно однородная выборка неагрессивных крыс (табл.).

Таблица

Результаты теста «реакция на мыш»

Сутки эксперимента	Фон		21-й день	
	Контроль	ЭМЭ	Контроль	ЭМЭ
ОЛП (с.)	19,45±8,293	28,23±12,15	31,45±18,23	31,65±10,92
ОК (шт.)	13,38±1,68	11,00±5,58	12,25±1,05	9,88±1,17
ОВ (с.)	25,86±4,99	30,21±8,09	23,21±3,07	21,87±3,87
СК (шт.)	12,25±1,81	6,19±1,15**	12,25±2,63	5,5±1,92*
НК (шт.)	6,63±0,60	7,50±1,30	6,13±0,58	3,5±0,53*
ПЕ (шт.)	4,88±0,77	3,88±1,82	3,25±0,73	2,00±0,42
ПЕ (с.)	5,00±1,27	5,80±2,82	3,76±1,16	2,44±0,58

Примечание: звездочками отмечены достоверные различия между контрольной и экспериментальной группами при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Воздействие 21-дневного умеренного ЭМЭ привело к значимому снижению количества НК на 43 % ($p < 0,05$), а также сохранению исходных различий в количестве СК, увеличивая их до 123 % ($p < 0,05$) (рис. 2).

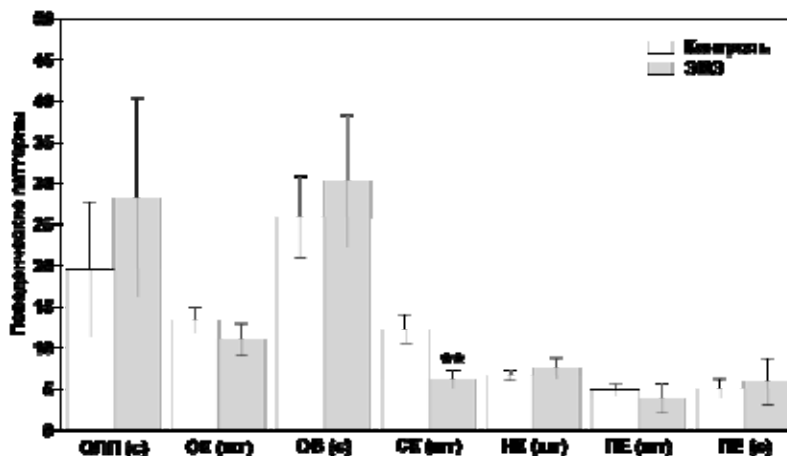


Рис. 1. Фоновый уровень исследуемых поведенческих показателей.

Примечание: звездочками отмечены достоверные различия между контрольной и экспериментальной группами при $**p < 0,01$.

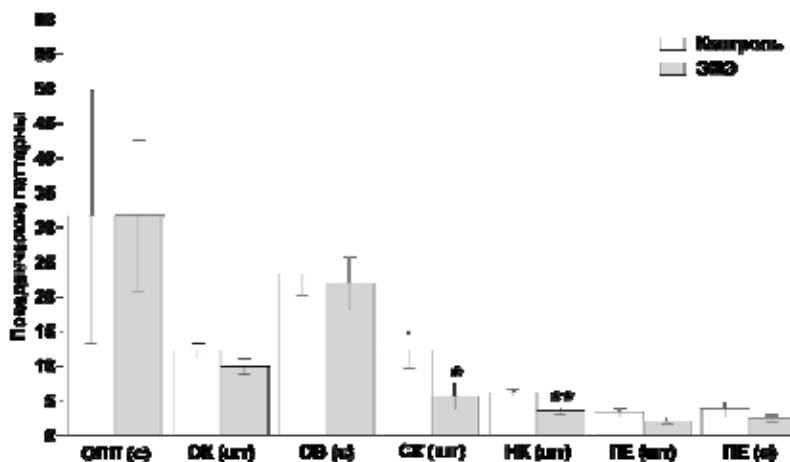


Рис. 2. Величина исследуемых паттернов поведения в контрольной группе и при воздействии 21-дневного умеренного ЭМЭ.

Примечание: звездочками отмечены достоверные различия между контрольной и экспериментальной группами при $*p < 0,05$, $**p < 0,01$.

Также наблюдались отличия в величине ОК на уровне тенденции: в группе «ЭМЭ» данный показатель был ниже, чем в контроле, на 19 % ($p < 0,16$). При попарном сопоставлении данных по принципу «до/после» выявлено, что ЭМЭ достоверно снижает количество НК на 53 % ($p < 0,05$) по сравнению с фоновым уровнем данного параметра. В то же время в контрольной группе не выявлено достоверных различий такого характера ни по одному из показателей. Подобные

результаты могут свидетельствовать о наличии тревожного поведения в группе «ЭМЭ». Для проверки этой гипотезы необходимы дальнейшие исследования.

В итоге 21-дневное умеренное ЭМЭ не влияет на степень выраженности паттернов агрессивного поведения и социального взаимодействия в тесте «реакция на мышь» в отличие 10-дневного ЭМЭ, увеличивающего агрессию [10–14]. Возможным объяснением данному феномену является активная работа компенсаторных механизмов адаптации к новым условиям среды [10], развитие которых ожидаемо при столь длительном воздействии стресс-фактора. К тому же известно, что межвидовая агрессия является более сложным и неоднозначным типом поведения, чем, например, межсамцовая агрессия [19]. Опираясь на результаты многолетних исследований корифеев в изучении явления мурицида (убийства крысами мышей), есть все основания полагать, что триггером для данного типа поведения зачастую служат мощные экспериментальные воздействия, такие как хроническая интоксикация тяжелыми металлами [20] или удаление обонятельной луковицы и прочие хирургические повреждения мозга [21], тогда как более слабые (пищевая депривация, социальный стресс) нередко не дают никакого эффекта [22, 23]. Значит, теоретически вероятность возникновения мурицида будет тем выше, чем сильнее степень ЭМЭ.

Вместе с этим следует акцентировать внимание на том, что существуют принципиальные различия в подходах к оценке агрессивного поведения в тесте «реакция на мышь» – балльная система анализа поведения [15] не отделяет агрессии как таковой от социального взаимодействия, в результате чего за формулировкой «увеличение агрессии» по факту может скрываться лишь повышение числа социальных контактов между животными, реализуемое, например, посредством гиперактивности. В таком случае значимость периодических проявлений «реальной» агрессии в виде укусов и мурицида будет нивелирована при определении среднего балла агрессии по группе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хроническое воздействие умеренного ЭМЭ приводит к ухудшению исследовательского поведения у крыс-самцов, проявляющееся в снижении количества заглядываний в норки на 43 % ($p < 0,05$) по отношению к контролю и на 53 % ($p < 0,05$) по сравнению с фоновым уровнем данного показателя. Агрессивного поведения зарегистрировано не было, а параметры социального взаимодействия крысы с мышью достоверно не изменились.

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. Haller J. Normal and abnormal aggression: human disorders and novel laboratory models / J. Haller, M. R. Kruk // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2006. – Vol. 30, No 3. – P. 292–303.
2. Wersinger S.R. Vasopressin V1b receptor knockout reduces aggressive behavior in male mice / S.R. Wersinger, E. I. Ginns, A. M. O'Carroll [et al.] // *Molecular psychiatry*. – 2002. – Vol. 7, No 9. – P. 975–984.
3. Бек У. Общество риска. На пути к другому модерну / Пер. с нем. В. Седельника, Н. Федоровой. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 384 с.
4. Трошина Н. В. Проблема деструктивности и агрессии: социально-философский аспект / Н. В. Трошина // *Теория и практика общественного развития*. – 2014. – № 9. – С. 20–22.
5. Кудрявцева Н. Н. Социобиология агрессии: мыши и люди / Кудрявцева Н. Н. // *Химия и жизнь* – XXI век. – 2004. – № 5. – С. 13–17.
6. Сподобаев Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. – Москва: Радио и связь, 2000. – 240 с.
7. Trofimov A. V. Dynamics of blood values in experimental geomagnetic deprivation (in vitro) reflects biotropic effects of natural physical factors during early human ontogeny / A. V. Trofimov, E. V. Sevostyanova // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2008. – Vol. 146, No 1. – P. 100–103.
8. Panasyuk M. Hypo-Magnetic Problems of the Deep Space Missions / M. Panasyuk, A. Spassky, K. Trukhanov // *Journal of Astrobiology & Outreach*. – 2014. – Vol. 2, No 3. – P. 1000e106.
9. Asashima M. Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt, *Synops pyrhogaster* / M. Asashima, K. Shimada, C. J. Pfeiffer // *Bioelectromagnetics*. – 1991. – Vol. 12, No 4. – P. 215–224.
10. Ходанович М. Ю. Влияние долговременного ослабления геомагнитного поля на агрессивность лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов / М. Ю. Ходанович, Е. В. Гуль, А. Е. Зеленская [и др.] // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2013. – № 1 (21). – С. 146–160.
11. Темуриянц Н. А. Участие опиоидной системы в изменении агрессивного поведения крыс в условиях электромагнитного экранирования / Н. А. Темуриянц, К. Н. Туманянц, А. С. Костюк [и др.] // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия»*. – 2014. – Т. 27 (66), № 3. – С. 160–168.
12. Темуриянц Н. А. Электромагнитное экранирование изменяет агрессивность крыс / Н. А. Темуриянц, Д. Р. Хусаинов, К. Н. Туманянц [и др.] // VII Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», 07–11 октября 2015 г.: Санкт-Петербург: тез. докл. – VII Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Научные труды конгресса. – СПб.: Оккервиль, 2015. – Т. 7. – С. 198.
13. Темуриянц Н. А., Влияние экзогенного мелатонина на развитие внутри- и межвидовой агрессивности крыс при умеренном электромагнитном экранировании / Н. А. Темуриянц, К. Н. Туманянц, Е. Н. Чуян [и др.] // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия»*. – 2016. – Т. 2, № 1 (68). – С. 97–107.
14. Туманянц К. Н. Поведение крыс при умеренном электромагнитном экранировании / К. Н. Туманянц, Е. Н. Чуян, Д. Р. Хусаинов [и др.] // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 1–2. – С. 199–203.
15. Девицин Д. В. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде / Д. В. Девицин, Н. А. Пальчикова, А. В. Трофимов [и др.] // *Бюлл. СО РАМН*. – 2005. – № 3. – С. 71–77.
16. Кривова Н. А. Повышение агрессивности крыс при экспозиции в условиях гипогеомагнитного поля / Н. А. Кривова, К. А. Труханов, Т. А. Замошина [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2008. – Т. 42, № 6-1. – С. 30–32.
17. Походзей Л. В. Гипогеомагнитные условия как неблагоприятный фактор производственной среды: дис. ... доктора мед. наук: 14.00.50 / Л. В. Походзей. – М.: ГУ «Научно-исследовательский институт медицины труда РАМН», 2004. – 190 с.
18. Рябов Ю. Г. Концепция восстановления геомагнитного поля в экранированных объектах / Ю. Г. Рябов, Г. В. Ломаев, Д. С. Кулешова // *Технологии электромагнитной совместимости*. – 2010. – № 4. – С. 35–43.

19. Yoshimura H. Mouse-killing and hyperemotionality in rats induced by three different kinds of experimental manipulations: A comparative study. / H. Yoshimura, S. Ueki // *Physiological Psychology*. – 1981. – Vol. 9, No 3. – P. 269–275.
20. Heihachiro A. Aggressive behavior of the rat induced by repeated administration of cadmium / A. Heihachiro, S. Ayako, S. Yasutomo // *Toxicology letters*. – 1981. – Vol. 7, No 6. – P. 457–461.
21. Karli P. Role of the amygdala in the control of “mouse-killing” behavior in the rat // *The neurobiology of the amygdala* / B. E. Eleftheriou / P. Karli, M. Vergnes, F. Eclancher [et al.]. – New York: Plenum Press, 1972. – P. 553–580.
22. Karli P. The Norway rat's killing response to the white mouse: an experimental analysis / P. Karli // *Behaviour*. – 1956. – Vol. 10, No 1. – P. 81–102.
23. Whalen R. E. The development of the mouse-killing response in rats / R. E. Whalen, H. Fehr // *Psychonomic Science*. – 1964. – Vol. 1, Iss. 1–12. – P. 77–78.

INFLUENCE OF MODERATE ELECTROMAGNETIC SHIELDING ON EXPLORATORY BEHAVIOR AND INTERSPECIFIC AGGRESSION IN RATS

*Chajka A. V.¹, Sheikhametova N. N.^{1,2}, Nikitina Yu. O.¹, Rakhlev A. A.^{1,3},
Khusainov D. R.¹, Tumanyants K. N.¹*

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

²*Dzhankoy central district hospital, Dzhankoy, Crimea, Russia*

³*Feodosiya Medical Center, children's hospital with a children's polyclinic, Feodosiya, Crimea, Russia*

E-mail: andrew.chajka@yandex.ru

Aggression is an evolutionarily ancient behavior, which is an indispensable tool for survival, both for a particular individual and for the species as a whole. However, this is also one of the serious health problems, because aggression is a symptom of various neurological and psychiatric disorders in children and adults, including Alzheimer's and other forms of dementia, schizophrenia and craniocerebral trauma. In addition, the problem of aggression is also relevant in the social context – it has become one of the main ways of expressing contradictions that arise both between people, groups of people, and directly in the society itself. Still no generation of people has not managed without wars, massacres, violence, robbery, destruction of material and spiritual values. That is why it is important to study the problem of aggression, namely, how to prevent the development of pathological aggressiveness or correct it.

Medico-biological studies have shown that living organisms cannot function normally without natural electromagnetic fields (EMF). At the same time, the natural geomagnetic field (GMF) in modern cities undergoes considerable distortion under the influence of numerous ferro-concrete structures and technogenic EMFs: local hyper- and hypomagnetic fields appear that have a negative impact on the functioning of living organisms. Nowadays, the increased interest in the effect of weakened GMF on the human and animal organism is also dictated by the rapid development of the aerospace area and the real prospect of regular space flights.

Previous studies of our laboratory showed an increase in both intraspecific and interspecific aggression under the effect of a 10-day moderate electromagnetic shielding (EMS), which is characterized by a particular rhythmic variability. At the same time, a number

of authors point out the advisability of conducting longer studies using a hypomagnetic surroundings to better understand how EMS affects people exposed to chronic exposure of this factor, for example, during space flights, being in shielding conditions – the subway, the cabin of sea vessels, military equipment. Therefore, the purpose of our study is to determine the effect of 21-day EMS on interspecific aggression in rats.

The studies were carried out on 16 white outbred male rats weighing 220–250 g. After we were recorded a background level of interspecies aggressions and exploratory behavior, rats were divided into two groups: "control" and "EMS" (n = 8 in each). Then, the EMS group underwent a 21-day moderate shielding, every day for 24 hours, except when the cages were cleaned (once a week to avoid additional stress) within 30 minutes outside the hypomagnetic environment. The control group was kept in standard vivarium conditions. On the 21st day, the behavior of the animals was re-registered.

The behavior of the rats was evaluated in the "reaction on mouse" test: the animals were placed at opposite ends of the round "Open Field" (97x42 cm, "Open Science") for 5 min, during which the video was monitored for the contact of the experimental rat with the mouse. The number of murders and other manifestations of aggressive behavior, such as bites and the wearing of the mouse in the teeth, were recorded [11, 15]. In addition, the social interaction of the rat with the mouse was recorded: latent period of the first sniffing reaction, total numbers of sniffing, total time spent in sniffing, number of acts of persecution and their total duration. Also determined the exploratory behavior of rats: the total number of rearings and peeking in the minks.

The chronic effect of moderate EMS leads to a decrease research behavior in male rats, which manifests itself in a decrease in the number of mink peeking by 43 % ($p < 0.05$) with respect to control, and 53 % ($p < 0.05$) compared with background level of this indicator. Aggressive behavior was not founded, and the parameters of social interaction of the rat with the mouse did not change significantly.

Keywords: interspecific aggression, muricide, electromagnetic shielding, exploratory behavior, rats.

References

1. Haller J., & Kruk M. R. (2006). Normal and abnormal aggression: human disorders and novel laboratory models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **30** (3), 292-303.
2. Wersinger S. R., Ginns E. I., O'carroll A. M., Lolait S. J., & Young III, W. S. (2002). Vasopressin V1b receptor knockout reduces aggressive behavior in male mice. *Molecular psychiatry*, **7**(9), 975.
3. Beck, U. *Risk society: Towards a new modernity*. Theory, culture & society (Vol. 17) (Sage Publications, London, Newbury Park, New Dehli, 1992), 260 pp.
4. Troshina N. V. (2014). The problem of destructiveness and aggression: socio-philosophical aspect. *Theory and practice of social development*, **9**, 20-22.
5. Kudryavtseva N. N. (2004). Sociobiology of aggression: the mice and the man. *Chemistry and life – XXI century*, **5**, 13-17.
6. Spodobayev Yu. M., Kubanov V. P. *Fundamentals of electromagnetic ecology* (Radio and Communication, Moscow, 2000), 240 pp.
7. Trofimov A. V., & Sevostyanova E. V. (2008). Dynamics of blood values in experimental geomagnetic deprivation (in vitro) reflects biotropic effects of natural physical factors during early human ontogeny. *Bulletin of experimental biology and medicine*, **146**(1), 100-103.
8. Panasyuk M., Spassky A., & Trukhanov K. (2014). Hypo-Magnetic Problems of the Deep Space Missions. *Journal of Astrobiology & Outreach*, **2**(3), 1000e106.

9. Asashima M., Shimada K., & Pfeiffer C. J. (1991). Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt, *Cynops pyrrhogaster*. *Bioelectromagnetics*, 12(4), 215-224.
10. Khodanovich M. U., Gul E. V., Zelenskaya A. E., Pan E. S., Krivova N. A. (2013). Effect of long-term weakening of the geomagnetic field on the aggressiveness of laboratory rats and activation of opioidergic neurons. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 1(21), 146-160.
11. Temuryants N. A., Tumanants K. N., Kostyuk A. S., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Chajka A. V. (2014). The participation of the opioid system in modifying aggressive behavior of rats in conditions of electromagnetic shielding. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 27 (3), 160-168.
12. Temuryants N. A., Khusainov D. R., Tumanants K. N., Kostyuk A. S., Cheretaev I. V., Yarmolyuk N. S., Chajka A. V. (2015). Electromagnetic shielding alters aggressive behaviour of rats. *Scientific Works of the International Congress "Weak and Superweak Fields and Radiation in Biology and Medicine"*, 7, 198.
13. Temuryants N. A., Tumanants K. N., Chuyan E. N., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Chajka A. V., Yarmolyuk N. S. (2016). Effect of exogenous melatonin on the development of intraspecific and interspecific aggression in rats under moderate electromagnetic shielding. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (1), 97-107.
14. Tumanants K. N., Chuyan E. N., Khusainov D. R., Kostyuk A. S., Yarmolyuk N. S., Cheretaev I. V., Chajka A. V. (2016). Behavior of rats under influence of long-term electromagnetic shielding. *International journal of applied and fundamental research. Biological sciences*, 1-2, 199-203.
15. Devitsin D. V., Palchikova N. A., Trofimov A. V., Selyatitskaya V. G. & Kaznacheev V. P. Dynamics of physiological characteristics and emotional-behavior reactivity of animals in preformed geomagnetic environment. *Bulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra*, 3, 71 (2005).
16. Krivova N. A., Trukhanov K. A., Zamoshchina T. A., Khodanovich M. Yu., Zaeva O. B., Sukhanov D. Ya., Tukhvatulin R. T., Sushko V. P., Mizina T. Yu. (2008). Growth of rat's aggressiveness during exposure in hypo-geomagnetic field. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 42 (6-1), 30-32.
17. Pokhodzey L. V. *Hypogeomagnetic conditions as an unfavorable factor of the working environment*: dissertation for the degree of Grand PhD in biological sciences (Research Institute of Occupational Health, Moscow, 2004), 190 pp.
18. Ryabov Yu. G., Lomaev G. V., Kuleshova D. S. (2010). Idea of geomagnetic field recovery in screened objects. *Technologies of electromagnetic compatibility*, 4, 35-43.
19. Yoshimura H., & Ueki S. (1981). Mouse-killing and hyperemotionality in rats induced by three different kinds of experimental manipulations: A comparative study. *Physiological Psychology*, 9(3), 269-275.
20. Heihachiro A., Ayako S., & Yasutomo S. (1981). Aggressive behavior of the rat induced by repeated administration of cadmium. *Toxicology letters*, 7(6), 457-461.
21. Karli P., Vergnes M., Eclancher F., Schmitt P., & Chaurand J. P. (1972). Role of the amygdala in the control of "mouse-killing" behavior in the rat. In *The neurobiology of the amygdala* (pp. 553-580). Springer US.
22. Karli P. (1956). The Norway rat's killing response to the white mouse: an experimental analysis. *Behaviour*, 10(1), 81-102.
23. Whalen R. E., & Fehr H. (1964). The development of the mouse-killing response in rats. *Psychonomic Science*, 1(1-12), 77-78.

УДК 591.1, 57.043, 57.045

**ВОЗДЕЙСТВИЕ УМЕРЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ЭКРАНИРОВАНИЯ НА МЕЖСАМЦОВУЮ АГРЕССИЮ У КРЫС В ТЕСТЕ
«РЕЗИДЕНТ – ИНТРУДЕР»**

*Чайка А. В.¹, Шейхаметова Н. Н.^{1,2}, Никитина Ю. О.¹, Рахлев А. А.^{1,3},
Хусаинов Д. Р.¹, Туманянц К. Н.¹*

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

²*ГБУЗ РК «Джанкойская центральная районная больница», Джанкой, Республика Крым, Россия*

³*ГБУЗ РК «Феодосийский медицинский центр», детская больница с детской поликлиникой, Феодосия, Республика Крым, Россия*

E-mail: andrew.chajka@yandex.ru

Установлено, что 21-дневное умеренное ЭМЭ слабовыраженно усиливает агрессию у беспородных крыс-самцов в парадигме «резидент – интродер», что проявляется в достоверном увеличении агрессивных вертикальных поз («боксирования») на 311 %.

Ключевые слова: межсамцовая агрессия, резидент – интродер, электромагнитное экранирование, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Агрессия – это эффективное средство конкуренции за пищу, территорию и эксклюзивные права на спаривание, и она служит для защиты потомства от других сородичей. Внутривидовая агрессия – это универсальная форма поведения, которая встречается у животных, находящихся на различных ступенях эволюционной лестницы: от насекомых до приматов. Социобиология рассматривает агрессию как позитивное явление и в жизни отдельной особи, и в эволюции [1]. В то же время агрессия между двумя особями одного вида влечет за собой определенные риски для этих животных. В результате агрессивное поведение между двумя самцами, например, носит ритуальный характер, чтобы избежать серьезных травм и дает возможность более слабому уйти заранее. Когда эти видоспецифические правила игнорируются, агрессивное поведение может стать ненормальным или патологическим. Например, когда самец нападает на самку – члена семьи, или агрессивное поведение продолжается, несмотря на явные признаки ритуала, или когда агрессия появляется вне соответствующего контекста [2]. Согласно данным ООН [3] на 2012 год, в мире 750 млн человек живут в странах с высоким уровнем насильственной смерти, а 3,4 миллиарда – со средним уровнем. В итоге в мире миллиарды людей подвергаются насилию при том, что агрессивное поведение не ограничивается лишь убийством – к этой области можно отнести широкий диапазон

криминальных действий, таких как изнасилования, уличные драки, домашнее насилие, похищение людей, жестокое обращение с животными и т. д. [3]. В свете этих данных особенно важным становится изучение внутривидовой агрессии и методов устранения ее патологических форм [4–8]. Несмотря на множество экспериментов, мы все еще далеки от полного понимания нейробиологических механизмов, лежащих в основе сложного поведения, такого как межсамцовая агрессия. Предпосылкой к пониманию инициации, исполнения и прекращения акта агрессии является подробный отчет о каждом отчетливо выраженном поведенческом элементе в ходе проявления внутривидовой агрессивности. Агрессивные формы поведения, как и другие виды поведения, состоят из определенных временных паттернов [9].

Геомагнитное поле (ГМП) является частью среды, в которой жизнь эволюционировала и развивалась [10], поэтому гелиогеофизические факторы имеют большое значение для пространственной и временной организации биосистем всех уровней, включая человека [11]. Магнитобиология собрала огромную доказательную базу того, что даже нормальные колебания ГМП оказывают существенное влияние на земную жизнь [10].

В нормальных комфортных условиях между организмом и окружающей средой устанавливаются гармонические взаимоотношения. Когда они нарушаются, могут возникнуть различные отклонения в функциях организма в виде болезни, снижения скорости психических, сенсорных и двигательных реакций. Физиологическим ответом организма на такие воздействия является снижение показателей жизнедеятельности, неадекватные действия и отклонения в поведении [12]. Советскими учеными еще в 1979 году были показаны крайне негативные эффекты ЭМЭ (коэффициент экранирования 600): кролики, находившиеся под действием ЭМЭ в течение всего эмбриогенеза и выросшие до 1-месячного возраста, имели ряд патологий печени, миокарда, ЖКТ, обмена веществ, недостаточность нервно-мышечного аппарата и как следствие – высокий уровень смертности [13]. Тем не менее механизмы влияния гипогеомагнитного поля на биологические объекты до сих пор не совсем ясны, хотя они изучаются около полувека [14]. К тому же системные исследования по изучению эффектов длительного (в течение недель и месяцев) непрерывного нахождения экспериментальных животных в ЭМЭ, а также исследования механизмов воздействия этого фактора представлены единичными работами [15–17]. В то же время такие работы необходимы для создания мер по адаптации организма к гипогеомагнитным условиям, а также для нормирования среды жизнедеятельности человека [15, 17]. Соответственно, целью данного исследования является определение влияния 21-дневного умеренного ЭМЭ на межсамцовую агрессию у крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на 19 белых беспородных крысах-самцах массой 260–290 г в соответствии с правилами, принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей. После того, как у животных зарегистрировали фоновый уровень

межсамцовой агрессии, их разделили на две группы: «контроль» (n=10) и «ЭМЭ» (n=9). Затем группа «ЭМЭ» подвергалась 21-дневному умеренному экранированию, ежедневно на протяжении всех 24 часов, кроме тех случаев, когда производилась уборка клеток (раз в неделю во избежание дополнительного стресса и для формирования ярко выраженных запаховых меток домашней клетки) в течение 30 мин. вне зоны действия гипوماгнитной среды. Контрольная группа содержалась в стандартных условиях вивария. На 21-й день проводилась повторная регистрация поведения животных.

Поведение крыс оценивали в классическом тесте «резидент – интродер»: в течение 5 мин было произведено наблюдение за взаимодействием двух животных: исследуемого из группы «контроль» или «ЭМЭ» (резидента) в его домашней клетке с самцом-интродером, которого подсаживали извне [18, 19]. Для каждого резидента подбирался новый интродер ($n_{\text{общее}}=19$), который, как и полагается по методике, должен быть меньше размером, в нашем случае – это самцы массой 180–220 г. Регистрировались следующие поведенческие паттерны [20, 21]:

1) Исследование соперника (ИС) – обнюхивание тела и гениталий противника.

Несмотря на то, что данные поведенческие акты традиционно относят к неагрессивному типу поведения, нами было отмечено, что обнюхивание нередко имеет элемент агрессивного принуждения: животное может опираться передними лапами на спину, и/или прижимать/опираться лапами на голову другой крысы для большего удобства в ее исследовании. Соответственно, такое поведение выделили в отдельную группу «агрессивного исследования» (АИ).

2) Аллогруминг – груминг одной особью другой, зачастую в области шеи и спины.

3) Вертикальная поза («боксирование») (ВП) – крыса встает на задние лапы в ответ на приближение или вертикальную позу противника. Они могут держаться друг за друга передними лапами.

4) Подавление и подчинение (ПП): доминирующая крыса занимает вертикальное положение и не дает противнику, который нередко лежит на спине, подняться с пола. Доминант может прижимать к полу противника, а также бить лапами по нему.

Для каждого из данных поведенческих элементов, кроме аллогруминга, был зафиксирован латентный период. В качестве главного критерия агрессивности был принят латентный период возникновения ВП [22]. В случае если определенный тип поведения отсутствует, то количество поведенческих взаимодействий принимается за ноль, а латентный период записывается максимальным временем тестирования – 300 с.

Ослабление фонового ЭМП достигалось применением экранирующей камеры размером 2х3х2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования V_{DC} , измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для горизонтальной – 20. 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 [23].

Статистическая обработка полученных данных проводилась критерием Манна – Уитни в программе Statistica 10, визуализация данных – GraphPad Prism 7.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что 21-дневное ЭМЭ усиливает межсамцовую агрессию у крыс в парадигме «резидент – интродер» по сравнению с данными контрольной группы ($p < 0,05$), что реализуется в увеличении ВП на 311 % (табл.). Фоновые показатели поведения животных достоверно неотличимы друг от друга (рис. 1–2).

Таблица

Результаты теста «резидент – интродер»

Сутки эксперимента	Фон		21-й день	
	Контроль	ЭМЭ	Контроль	ЭМЭ
ИС (шт.)	14,44±1,94	13,8±1,24	11,00±1,60	12,00±2,20
ИС (с.)	12,00±5,38	9,20±2,43	9,22±3,16	8,50±2,35
АИ (шт.)	6,89±1,01	5,00±0,93	7,40±1,90	6,50±1,10
АИ (с.)	39,44±10,00	63,90±26,87	46,44±31,88	25,70±11,24
ВП (шт.)	2,89±1,23	4,60±0,96	0,56±0,18	2,30±0,83*
ВП (с.)	181,4±39,88	128,00±18,72	187,30±11,22	102,50±26,47
ПП (шт.)	0,67±0,33	0,70±0,40	0,89±0,45	0,40±0,16
ПП (с.)	251,1±30,60	256,20±24,95	254,60±27,34	244,0±26,92
Аллогруминг (шт.)	–	–	0,67±0,44	0,70±0,21

Примечание: звездочкой отмечены достоверные различия между контрольной и экспериментальной группами при $*p < 0,05$.

В контрольной группе количество ВП колеблется в пределах 0–1 шт., в то время как в группе «ЭМЭ» – 1–9 шт. Латентный период возникновения поведенческих актов такого рода достоверно не отличается между группами, однако на уровне тенденции присутствуют различия – ЭМЭ уменьшает ВП (с) на 45,5 % ($p < 0,18$) (рис. 3).

Также стоит отметить, что в группе ЭМЭ чаще (в 6 случаях из 10, $p < 0,45$), чем в контроле (в 3 случаях из 10), наблюдается аллогруминг, рассматриваемый некоторыми авторами как проявление агрессии [24]. В то же время остальные поведенческие показатели не имеют сколько-нибудь значимых расхождений между собой (рис. 3–4).

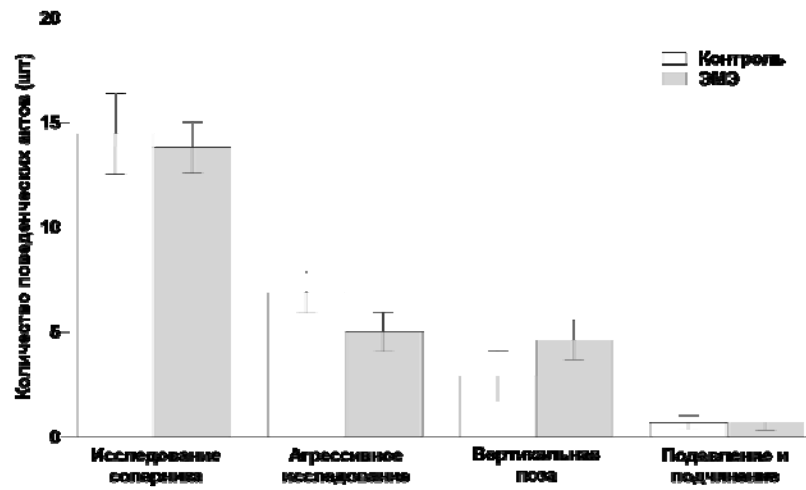


Рис. 1. Фоновое количество поведенческих актов в контрольной и экспериментальной группах.

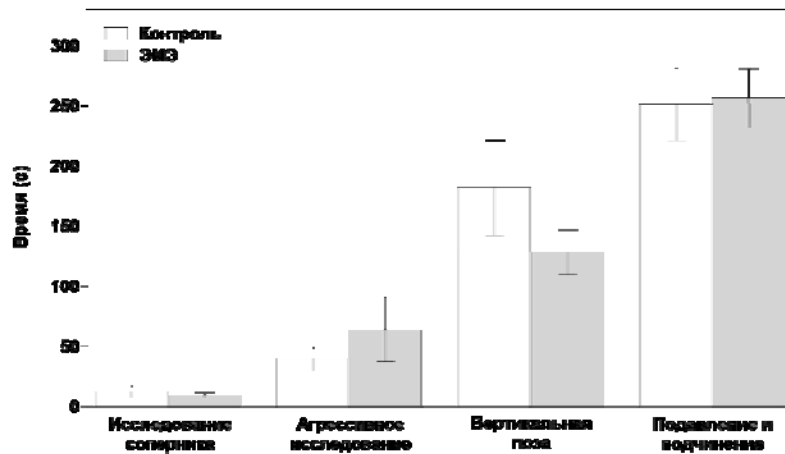


Рис. 2. Фоновый латентный период различных форм поведения у крыс.

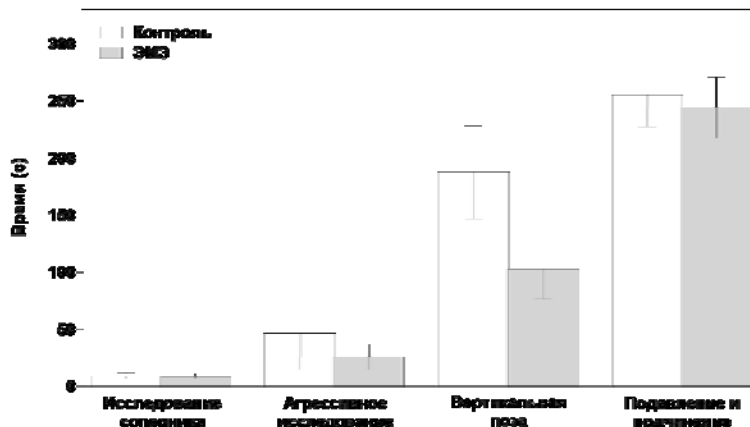


Рис. 3. Латентный период различных поведенческих паттернов в контроле и после воздействия 21-дневного умеренного ЭМЭ.

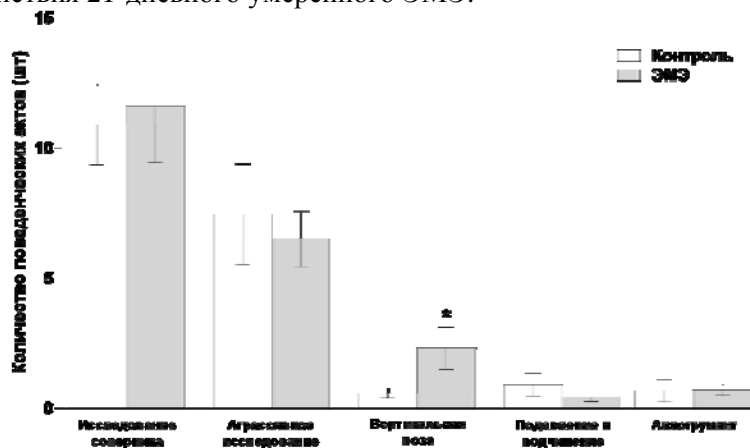


Рис. 4. Количество различных поведенческих актов в контроле и после воздействия 21-дневного умеренного ЭМЭ.

Примечание: звездочкой отмечены достоверные различия между контрольной и экспериментальной группами при $*p < 0,05$.

Более ранние исследования нашей лаборатории показали увеличение как внутривидовой, так и межвидовой агрессии под действием 10-дневного умеренного ЭМЭ, которое характеризуется особой ритмической изменчивостью [23, 25–27]. Работы других ученых также подтверждают данные выводы [15, 28, 29]. Особенного внимания заслуживают эксперименты, выполненные Ходанович и соавт. [29], по результатам которых было выдвинуто предположение, что характер влияния ЭМЭ на агрессию у грызунов зависит от продолжительности экспериментального воздействия: 10-дневное ЭМЭ увеличивало агрессию, однако на 14, 19 и 21 сутки воздействия гипомангнитной среды (0 ± 50 нТл) не было

обнаружено достоверных различий с контрольной группой. Этот феномен авторы предлагают рассмотреть с точки зрения работы адаптационных механизмов организма. Проводя аналогию с другими психическими функциями [30, 31], можно прийти к выводу, что 21-дневный период является неким универсальным отрезком времени, необходимым для приспособления организма к новым условиям среды. Вероятно, более длительный период воздействия стресс-фактора должен приводить к фазе истощения и наиболее ярким поведенческим ответам, что подводит нас к необходимости проведения как минимум 30–50-дневных исследований по влиянию умеренного ЭМЭ на поведение грызунов по аналогии с подобными исследованиями в смежной области со стресс-индуцированной депрессией [32, 33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, опираясь на результаты, полученные в ходе данного эксперимента, можно прийти к выводу, что 21-дневное умеренное ЭМЭ слабовыраженно усиливает агрессию у крыс, что проявляется в достоверном увеличении агрессивных стоек («боксирования») на 311 %.

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. Кудрявцева Н. Н. Социобиология агрессии: мыши и люди / Кудрявцева Н. Н. // Химия и жизнь – XXI век. – 2004. – No 5. – С. 13–17.
2. Haller J. Normal and abnormal aggression: human disorders and novel laboratory models / J. Haller, M. R. Kruk // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2006. – Vol. 30, No 3. – P. 292–303.
3. Global study on homicide 2013: trends, contexts, data / Editing by J. Gibbons. – Vienna: United Nations office on drugs and crime (UNODC), 2013. – 166 pp.
4. Cristóbal-Azkarate J. Causes of intraspecific aggression in *Alouatta palliata mexicana*: Evidence from injuries, demography, and habitat / J. Cristóbal-Azkarate, P. A. D. Dias, J. J. Veà // International Journal of Primatology. – 2004. – Vol. 25, No 4. – P. 939–953.
5. Plyusnina I. Z. Intraspecific intermale aggression in tame and aggressive Norway rats / I. Z. Plyusnina, M. I. Solov'eva // Zhurnal vysshei nervnoi deiatelnosti imeni I. P. Pavlova. – 2009. – Vol. 60, No 2. – P. 175–183.
6. Umukoro S. Aggressive behavior: a comprehensive review of its neurochemical mechanisms and management / S. Umukoro, A. C. Aladeokin, A. T. Eduviere // Aggression and Violent Behavior. – 2013. – Vol. 18, No 2. – P. 195–203.
7. Kudryavtseva N. N. Aggressive behavior: Genetic and physiological mechanisms / N. N. Kudryavtseva, A. L. Markel, Y. L. Orlov // Russian Journal of Genetics: Applied Research. – 2015. – Vol. 5, No 4. – P. 413–429.
8. Tulogdi A. Neural mechanisms of predatory aggression in rats – implications for abnormal intraspecific aggression / A. Tulogdi, L. Biro, B. Barsvari [et al.] // Behavioural brain research. – 2015. – Vol. 283. – P. 108–115.

9. Miczek K. A. Ethopharmacology of aggression: impact on autonomic and mesocorticolimbic activity / K. A. Miczek, W. Tornatzky // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 1996. – Vol. 794, No 1. – P. 60–77.
10. Ciortea L. I. Life in zero magnetic field. III. Effect on zinc and copper in human blood serum during in vitro aging / L. I. Ciortea, V. V. Morariu, A. Todoran [et al.] // *Electro-and Magnetobiology*. – 2001. – Vol. 20, No 2. – P. 127–139.
11. Trofimov, A. V. Dynamics of blood values in experimental geomagnetic deprivation (in vitro) reflects biotropic effects of natural physical factors during early human ontogeny / A. V. Trofimov, E. V. Sevostyanova // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2008. – Vol. 146, No 1. – P. 100–103.
12. Григорьев Ю. Г. Ослабление геомагнитного поля как фактор риска при работе в экранированных помещениях / Ю. Г. Григорьев // *Медицина труда и пром. экология*. – 1995. – № 4. – С. 7–12.
13. Kopanev V. I. Biological effect of a hypogeomagnetic environment on an organism / V. I. Kopanev, G. D. Efimenko, A. V. Shakula // *Biology bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*. – 1979. – Vol. 6, No 3. – P. 289–298.
14. Бинги В. Н. Принципы электромагнитной биофизики / В. Н. Бинги. – М.: Физматлит, 2011. – 592 с.
15. Девидин Д. В. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде / Д. В. Девидин, Н. А. Пальчикова, А. В. Трофимов [и др.] // *Бюлл. СО РАМН*. – 2005. – № 3. – С. 71–77.
16. Jia B. Effects of hypomagnetic field environment on hematopoietic system in mice / B. Jia, W. J. Zhang, L. Xie [et al.] // *Hangtian Yixue yu Yixue Gongcheng*. – 2011. – V. 24, No 5. – P. 318–322.
17. Гуль Е. В. Поведение и функциональное состояние ЦНС крыс после пребывания в моделируемых гипогеомагнитных условиях: автореф. дис. ... на соиск. учен. степени канд. биол. наук / Е. В. Гуль. – Томск: НИ ТГУ, 2014. – 23 с.
18. de Boer S. F. 5-HT 1A and 5-HT 1B receptor agonists and aggression: a pharmacological challenge of the serotonin deficiency hypothesis / S. F. de Boer, J. M. Koolhaas // *European journal of pharmacology*. – 2005. – Vol. 526, No 1. – P. 125–139.
19. Koolhaas J. M. The resident-intruder paradigm: a standardized test for aggression, violence and social stress / J. M. Koolhaas, C. M. Coppens, S. F. de Boer [et al.] // *Journal of visualized experiments: JoVE*. – 2013. – No 77. – P. e4367.
20. Koolhaas J. M. The organization of intraspecific agonistic behaviour in the rat / J. M. Koolhaas, T. Schuurman, P. R. Wiepkema // *Progress in Neurobiology*. – 1980. – Vol. 15, No 3. – P. 247–268.
21. Vekovischeva O. Y. Multimetric statistical analysis of behavior in mice selected for high and low levels of isolation-induced male aggression / O. Y. Vekovischeva, E. V. Verbitskaya, T. Aitta-Aho [et al.] // *Behavioural processes*. – 2007. – Vol. 75, No 1. – P. 23–32.
22. Veenema A. H. Neurobiological mechanisms of aggression and stress coping: a comparative study in mouse and rat selection lines / A. H. Veenema, I. D. Neumann // *Brain, behavior and evolution*. – 2007. – Vol. 70, No 4. – P. 274–285.
23. Туманянц К. Н. Поведение крыс при умеренном электромагнитном экранировании / К. Н. Туманянц, Е. Н. Чуян, Д. Р. Хусаинов [и др.] // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 1–2. – С. 199–203.
24. Van Erp A. M. M. Increased aggression after ethanol self-administration in male resident rats / A. M. M. Van Erp, K. A. Miczek // *Psychopharmacology*. – 1997. – Vol. 131, No 3. – P. 287–295.
25. Темуриянц Н. А. Влияние экзогенного мелатонина на развитие внутри- и межвидовой агрессивности крыс при умеренном электромагнитном экранировании / Н. А. Темуриянц, К. Н. Туманянц, Е. Н. Чуян [и др.] // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия»*. – 2016. – Т. 2, № 1 (68). – С. 97–107.
26. Темуриянц Н. А. Участие опиоидной системы в изменении агрессивного поведения крыс в условиях электромагнитного экранирования / Н. А. Темуриянц, К. Н. Туманянц, А. С. Костюк [и др.] // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия»*. – 2014. – Т. 27 (66), № 3. – С. 160–168.
27. Темуриянц Н. А. Электромагнитное экранирование изменяет агрессивность крыс / Н. А. Темуриянц, Д. Р. Хусаинов, К. Н. Туманянц [и др.] // *VII Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине», 07–11 октября 2015 г.: Санкт-Петербург:*

- тез. докл. – VII Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Научные труды конгресса. – СПб.: Оккервиль, 2015. – Т. 7. – С. 198.
28. Кривова Н. А. Повышение агрессивности крыс при экспозиции в условиях гипогеомагнитного поля / Н. А. Кривова, К. А. Труханов, Т. А. Замощина [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2008. – Т.42, № 6-1. – С. 30–32.
 29. Ходанович М. Ю. Влияние долговременного ослабления геомагнитного поля на агрессивность лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов / М. Ю. Ходанович, Е. В. Гуль, А. Е. Зеленская [и др.] // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2013. – № 1 (21). – С. 146–160.
 30. Бахшалиева А. Я. Особенности развития депрессивного состояния у крыс с различным индивидуально-типологическим поведенческим статусом / А. Я. Бахшалиева // *Нейрофизиология*. – 2010. – Т. 42, № 2. – С. 153–161.
 31. Чайка А. В. Хроническая блокада D2-рецепторов и поведение низкодепрессивных крыс / А. В. Чайка, Д. Р. Хусаинов, И. В. Черетаев [и др.] // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. – 2017. – Т. 103, № 2. – С. 172–181.
 32. Ely D. R. Effect of restraint stress on feeding behavior of rats / D. R. Ely, V. Dapper, J. Marasca [et al.] // *Physiology & behavior*. – 1997. – Vol 61, No 3. – P. 395–398.
 33. Silveira P. P. Interaction between repeated restraint stress and concomitant midazolam administration on sweet food ingestion in rats / P. P. Silveira, M. H. Xavier, F. H. Souza [et al.] // *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. – 2000. – Vol. 33, No 11. – P. 1343–1350.

INFLUENCE OF MODERATE ELECTROMAGNETIC SHIELDING ON INTERMALE RATS AGGRESSION IN RESIDENT-INTRUDER TEST

***Chajka A. V.¹, Sheikhametova N. N.^{1,2}, Nikitina Yu. O.¹, Rakhlev A. A.^{1,3},
Khusainov D. R.¹, Tumanyants K. N.¹***

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

²*Dzhankoy central district hospital, Dzhankoy, Crimea, Russia*

³*Feodosiya Medical Center, children's hospital with a children's polyclinic, Feodosiya, Crimea, Russia*

E-mail: andrew.chajka@yandex.ru

Aggression is an effective instrument of competition for food, territory, and exclusive rights to mating, and it serves to protect offspring from other animals. Intraspecific aggression is a universal form of behavior that occurs in animals at various stages of the evolutionary ladder, from insects to primates. Sociobiology considers aggression as a positive phenomenon in the life of an individual and in evolution. At the same time, the aggression between two individuals of the same species entails certain risks for these animals, especially when this behavior is abnormal or pathological. In the world, billions of people are subjected to violence, while aggressive behavior is not limited to murder. A wide range of criminal activities, such as rape, street fights, domestic violence, kidnapping, cruelty to animals etc., can be attributed to this area. In the light of these data, the study of intraspecific aggression and methods of eliminating its pathological forms becomes especially important. Despite a lot of experiments, we are still far from a complete understanding of the neurobiological mechanisms of intermale aggression. A prerequisite for understanding the initiation, execution and cessation of the act of aggression is a detailed account of each distinctly pronounced behavioral element in the course of manifestations of intraspecific aggression.

The geomagnetic field (GMF) is part of the environment in which life has evolved, so heliogeophysical factors are of great importance for the spatial and temporal organization of biosystems at all levels, including humans. Magnetobiology has gathered a huge evidence base that even normal fluctuations of GMFs have a significant impact on terrestrial life. In normal comfortable conditions, harmonic relationships are established between the body and the environment. When they are violated, various deviations in the functions of the organism can occur in the form of illness, reducing the speed of mental, sensory and motor reactions.

Nevertheless, the mechanisms of the influence of the hypogeomagnetic fields on biological objects are still not entirely clear, although they have been studied for about half a century. In addition, systematic studies on the effects of continuous (during weeks and months) constant exposure of experimental animals on electromagnetic shielding (EMS), as well as studies of the mechanisms of the effect of this factor, are presented by single studies. At the same time, such work is necessary to create measures to adapt organism to hypogeomagnetic conditions, as well as to normalize the environment of human living. Accordingly, the purpose of this study is to determine the effect of 21-day moderate EMS exposure on intermale aggression in rats.

Studies were carried out on 19 white outbred male rats weighing 260–290 g. After the background level of intermale aggression was registered, animals were divided into two groups: "control" (n = 10) and "EMS" (n = 9). Then, the EMS group underwent a 21-day moderate shielding, every day for 24 hours, except for the cases when the cages were cleaned (once a week in order to avoid additional stress and to form pronounced odor labels of the home cage) for 30 minutes outside zone of action of a EMS. The control group was kept in standard vivarium conditions. On the 21st day, the behavior of the animals was re-registered. The behavior of the rats was evaluated in the classic "resident-intruder" test: during 5 minutes, two animals were monitored – an animal from the "control" or "EMS" group (resident) in his home cage with a male intruder, who was placed from the outside. For each resident, a new intruder was chosen (n = 19), which, as expected by the method, should be smaller than resident, in our case – males weighing 180-220 g. The following behavioral patterns were recorded:

1) Investigation of the opponent – sniffing the body and the genitals of the enemy. Despite the fact that these behavioral acts are traditionally attributed to a non-aggressive type of behavior, we noted that sniffing often has an element of aggressive coercion – the animal can lean its forepaws on its back, and/or press on/rest on the head of another rat for more convenience in investigation. Accordingly, this behavior was singled out as a separate group of "aggressive investigation".

2) Allogrooming - grooming one individual another, often in the neck and back.

3) Vertical posture ("boxing") – the rat stands on its hind legs in response to an approach or vertical pose of the opponent. They can cling to each other's front paws.

4) Suppression and submission: the dominant rat occupies a vertical position and does not allow the enemy to rise from the floor, which often lies on his back. The dominant can be pressed to the opponent's floor, and also bite on it.

For each of these behavioral elements, except for allogrooming, a latent period was recorded. As the main criterion of aggressiveness, a latent period of the emergence of the

boxing was adopted. In the event that a certain type of behavior is absent, the number of behavioral interactions is taken as zero, and the latent period is recorded by the maximum test time of 300 s.

The weakening of the background EMS was achieved by using a shielding camera with a size of 2x3x2 m, made of double-layered iron "Dynamo". The shielding coefficient B_{DC} , measured with a flux gage magnetometer, is 4.4 for the vertical component, and 20 for the horizontal component. The shielding coefficient of the camera at frequencies 50 and 150 Hz is of the order of three. In the frequency range from 150 Hz to 100 kHz, weak shielding occurs, whereas at frequencies above 1 MHz there was a complete shielding.

It has been established that a 21-day moderate EMS mildly increase aggression in outbred male rats in the "resident-intruder" paradigm, which is manifested in increase number of boxing postures on 311 %.

Keywords: intermale aggression, resident-intruder, electromagnetic shielding, rats.

References

1. Kudryavtseva N. N. (2004). Sociobiology of aggression: the mice and the man. *Chemistry and life-XXI century*, 5, 13-17.
2. Haller J., & Kruk M. R. (2006). Normal and abnormal aggression: human disorders and novel laboratory models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(3), 292-303.
3. United Nations Office on Drugs and Crime. (2013). *Global study on homicide 2013: trends, contexts, data*. UNODC. 166 pp.
4. Cristóbal-Azkarate J., Dias P. A. D., & Veà J. J. (2004). Causes of intraspecific aggression in *Alouatta palliata mexicana*: Evidence from injuries, demography, and habitat. *International Journal of Primatology*, 25(4), 939-953.
5. Plyusnina I. Z., & Solov'eva M. (2010). Intraspecific intermale aggression in tame and aggressive Norway rats. *Zhurnal vysshei nervnoi deiatelnosti imeni IP Pavlova*, 60(2), 175-183.
6. Umukoro S., Aladeokin A. C., & Eduviere A. T. (2013). Aggressive behavior: a comprehensive review of its neurochemical mechanisms and management. *Aggression and Violent Behavior*, 18(2), 195-203.
7. Kudryavtseva N. N., Markel A. L., & Orlov Y. L. (2015). Aggressive behavior: genetic and physiological mechanisms. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 5(4), 413-429.
8. Tulogdi A., Biro L., Barsvari B., Stankovic M., Haller, J., & Toth, M. (2015). Neural mechanisms of predatory aggression in rats-implications for abnormal intraspecific aggression. *Behavioural brain research*, 283, 108-115.
9. Miczek K. A., & Tornatzky W. (1996). Ethopharmacology of aggression: impact on autonomic and mesocorticolimbic activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 794(1), 60-77.
10. Ciortea L. I., Morariu V. V., Todoran A., & Popescu S. (2001). Life in zero magnetic field. III. Effect on zinc and copper in human blood serum during in vitro aging. *Electro-and Magnetobiology*, 20(2), 127-139.
11. Trofimov, A. V., & Sevostyanova, E. V. (2008). Dynamics of blood values in experimental geomagnetic deprivation (in vitro) reflects biotropic effects of natural physical factors during early human ontogeny. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 146(1), 100-103.
12. Grigor'ev YU. G. (1995). Mild geomagnetic field as a risk factor of work in screened buildings. *Industr. med.*, 4, 7-12.
13. Kopanev V. I., Efimenko G. D., & Shakula A. V. (1979). Biological effect of a hypogeomagnetic environment on an organism. *Biology bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*, 6(3), 289-298.
14. Bingi V. N., *Printsipy elektromagnitnoj biofiziki* (Fizmatlit, Moscow, 2011), 592 pp.
15. Devitsin D. V., Palchikova N. A., Trofimov A. V., Selyatitskaya V. G. & Kaznacheev V. P. (2005). Dynamics of physiological characteristics and emotional-behavior reactivity of animals in preformed geomagnetic environment. *Bulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra*, 3, 71-77.

16. Jia, B., Zhang, W. J., Xie, L., Zheng, Q., Tian, Z. C., Qian, A. R., & Shang, P. (2011). Effects of hypomagnetic field environment on hematopoietic system in mice. *Hangtian Yixue yu Yixue Gongcheng*, 24(5), 318-322.
17. Gul E. V. *Behavior and functional state of the central nervous system of rats after being in simulated hypogeomagnetic conditions*: thesis for the degree of PhD of biological sciences (NI TGU, Tomsk, 2014), 23 pp.
18. de Boer, S. F., & Koolhaas, J. M. (2005). 5-HT 1A and 5-HT 1B receptor agonists and aggression: a pharmacological challenge of the serotonin deficiency hypothesis. *European journal of pharmacology*, 526(1), 125-139.
19. Koolhaas, J. M., Coppens, C. M., de Boer, S. F., Buwalda, B., Meerlo, P., & Timmermans, P. J. (2013). The resident-intruder paradigm: a standardized test for aggression, violence and social stress. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (77), e4367.
20. Koolhaas, J. M., Schuurman, T., & Wiepkema, P. R. (1980). The organization of intraspecific agonistic behaviour in the rat. *Progress in Neurobiology*, 15(3), 247-268.
21. Vekovischeva, O. Y., Verbitskaya, E. V., Aitta-Aho, T., Sandnabba, K., & Korpi, E. R. (2007). Multimetric statistical analysis of behavior in mice selected for high and low levels of isolation-induced male aggression. *Behavioural processes*, 75(1), 23-32.
22. Veenema, A. H., & Neumann, I. D. (2007). Neurobiological mechanisms of aggression and stress coping: a comparative study in mouse and rat selection lines. *Brain, behavior and evolution*, 70(4), 274-285.
23. Tumanyants K. N., Chuyan E. N., Khusainov D. R., Kostyuk A. S., Yarmolyuk N. S., Cheretaev I. V., Chajka A.V. (2016). Behavior of rats under influence of long-term electromagnetic shielding. *International journal of applied and fundamental research. Biological sciences*, 1-2, 199-203.
24. Van Erp, A. M. M., & Miczek, K. A. (1997). Increased aggression after ethanol self-administration in male resident rats. *Psychopharmacology*, 131(3), 287-295.
25. Temuryants N. A., Tumanyants K. N., Chuyan E. N., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Chajka A. V., Yarmolyuk N. S. (2016). Effect of exogenous melatonin on the development of intraspecific and interspecific aggression in rats under moderate electromagnetic shielding. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 2 (1), 97-107.
26. Temuryants N. A., Tumanyants K. N., Kostyuk A. S., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Chajka A. V. (2014). The participation of the opioid system in modifying aggressive behavior of rats in conditions of electromagnetic shielding. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 27 (3), 160-168.
27. Temuryants N. A., Khusainov D. R., Tumanyants K. N., Kostyuk A. S., Cheretaev I. V., Yarmolyuk N. S., Chajka A.V. (2015). Electromagnetic shielding alters aggressive behaviour of rats. *Scientific Works of the International Congress "Weak and Superweak Fields and Radiation in Biology and Medicine"*, 7, 198.
28. Krivova N. A., Trukhanov K. A., Zamoshchina T. A., Khodanovich M. Yu., Zaeva O. B., Sukhanov D. Ya., Tukhvatulin R. T., Sushko V. P., Mizina T. Yu. (2008). Growth of rat's aggressiveness during exposure in hypo-geomagnetic field. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 42 (6-1), 30-32.
29. Khodanovich M. U., Gul E. V., Zelenskaya A. E., Pan E. S., Krivova N. A. (2013). Effect of long-term weakening of the geomagnetic field on the aggressiveness of laboratory rats and activation of opioidergic neurons. *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 1(21), 146-160.
30. Bakhshalieva A. Ya. (2010). Peculiarities of depressive state development in rats with different individual-typological behavioral state. *Neurophysiology*, 42 (2), 153-161.
31. Chajka A. V., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Koreniuk I. I., Nozdrachev A. D. (2017). Chronic D₂-receptor blockade and behavior of low depressive rats. *Russian journal of physiology*, 103 (2), 172-181.
32. Ely, D. R., Dapper, V., Marasca, J., Correa, J. B., Gamaro, G. D., Xavier, M. H., Correa, J. B., Gamaro, G. D., Xavier, M. H., Michalowski, M. B., Catelli, D., Rosat, R., Ferreira, M. B. C. & Dalmaz, C. (1997). Effect of restraint stress on feeding behavior of rats. *Physiology & behavior*, 61(3), 395-398.
33. Silveira, P. P., Xavier, M. H., Souza, F. H., Manoli, L. P., Rosat, R. M., Ferreira, M. B. C., & Dalmaz, C. (2000). Interaction between repeated restraint stress and concomitant midazolam administration on sweet food ingestion in rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(11), 1343-1350.

УДК 616-092.4:577.112.34

ВЛИЯНИЕ НИЗКО- И СРЕДНЕМОЛЕКУЛЯРНЫХ БЕЛКОВО-ПЕПТИДНЫХ ФРАКЦИЙ ЭКСТРАКТОВ СЕМЯН *CHENOPodium ALBUM L.* НА КОМПОНЕНТЫ БОЛИ У КРЫС

Черетаев И. В.¹, Чайка А. В.¹, Перцов С. С.^{2,3}, Козлов А. Ю.^{2,3}, Рогожин Е. А.⁴

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

²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина», Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Минздрава России, Москва, Россия

⁴ФГБНУ «Институт биоорганической химии РАН им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова», Москва, Россия

E-mail: cheretaev86@yandex.ru

В работе изучали анальгетическую активность различных доз экстрактов мари белой (*Chenopodium album L.*), содержащих низко- и среднемолекулярные белково-пептидные фракции, и оценивали их влияние на перцептуальный, эмоциональный и иммунный компоненты боли у крыс. Эксперименты выполнены на 60 крысах-самцах Вистар массой 220–260 г. Обнаружено наличие анальгетической активности у белково-пептидных экстрактов семян мари белой, содержащих низкомолекулярные компоненты (до 1500 Да) в дозе 850 мкг/кг и среднемолекулярные компоненты (от 1500 до 6000 Да) в дозе 85 мкг/кг. При этом экстракт *Chenopodium album L.*, содержащий пептидные компоненты до 1500 Да, подавлял эмоциональный компонент ноцицепции у крыс, а экстракт, имеющий в своем составе компоненты массой от 1500 до 6000 Да, в дозе 850 мкг/кг подавлял перцептуальный компонент ноцицепции и воздействовал на иммунный компонент ноцицепции.

Ключевые слова: перцептуальный, эмоциональный и иммунный компоненты боли, *Chenopodium album L.*, белково-пептидные экстракты, лабораторные крысы, тест «tail-flick», тест «электрокожная стимуляция хвоста», пирогенал.

ВВЕДЕНИЕ

Боль – это неприятное сенсорное и эмоциональное переживание, возникающее в связи с настоящей или потенциальной угрозой повреждения тканей [1].

Более 90 % заболеваний сопровождается болью, и около 20 % населения планеты страдает хронической болью [2]. Согласно официальным статистическим данным, различные травмы, медикаментозное сопровождение которых часто осуществляется с использованием анальгетиков, занимали второе место среди числа впервые в жизни зарегистрированных заболеваний в 2013 г. в Крыму [3]. Поэтому поиск новых эффективных и безопасных анальгетиков актуален для крымского региона. Наиболее часто используемые в настоящее время в фармакологической практике неопиоидные анальгетики недостаточно эффективны при послеоперационной боли, хронических болях либо обладают рядом сопутствующих

побочных эффектов [4, 5], оказывая ulcerогенное, гепато- и нефротоксическое действие, а также неблагоприятное влияние на кардиореспираторную систему, вызывая кардиоваскулярный риск и развитие бронхоспазма. Все это значительно ограничивает длительное применение неопиоидных анальгетиков. Более эффективными являются опиоидные анальгетики – опиаты и их аналоги (морфин, фентанил, кодеин), которые эффективно используются в хирургии и онкологии, но обладают высоким наркотическим потенциалом [4], что также существенно снижает и ограничивает сферы их возможного использования.

Некоторые авторы считают, что альтернативой известным неопиоидным и опиоидным анальгетикам может быть использование препаратов растительного происхождения с обезболивающим и противовоспалительным действием, физиологически активных веществ пептидной природы [6].

С точки зрения поиска анальгетической активности перспективно широко распространенное на территории юга России, в том числе и Республики Крым, дикорастущее лекарственное растение – марь белая (*Chenopodium album L.*). По предварительным исследованиям эффектов тотального белково-пептидного экстракта семян этого растения, проведенных в тестах «горячая вода», «горячая пластина» и «электростимуляция» через 30 мин. после инъекций доказана его выраженная анальгетическая активность в дозах 85 и 850 мкг/кг [7]. По исследованиям зарубежных авторов, в экспериментах на лабораторных мышах в формалиновом тесте также было показано наличие анальгетической активности у этанольного тотального экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозах 200–400 мг/кг через 1 час после инъекций, сопоставимой с эффектом нестероидного противовоспалительного препарата диклофенака натрия [8], а также в тесте «tail-flick» в дозе 500 мг/кг через 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 и 240 мин. после инъекций экстракта [9]. Все это указывает на целесообразность поиска в нем отдельных фракций, обладающих анальгетической активностью.

Цель работы – осуществить поиск анальгетической активности у экстрактов семян мари белой (*Chenopodium album L.*), содержащих низко- и среднемолекулярные белково-пептидные фракции, и изучить влияние этих экстрактов на перцептуальный, эмоциональный и иммунный компоненты боли у крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на 60 крысах-самцах Вистар массой 220–260 г. При проведении опытов руководствовались «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», утвержденными на заседании этической комиссии ГУ НИИ нормальной физиологии имени П. К. Анохина РАМН (протокол № 1 от 3.09.2005), требованиями Всемирного общества защиты животных (WSPA) и Европейской конвенции по защите экспериментальных животных.

В работе оценивали перцептуальный, эмоциональный и иммунный компоненты боли у крыс в норме и после введения различных доз низко- и среднемолекулярных фракций белково-пептидных экстрактов *Chenopodium album L.*

Перцептуальный компонент боли оценивали в тесте «tail-flick», основным показателем данного теста служил латентный период реакции отведения хвоста (ЛПРОХ) в ответ на свето-термальное раздражение. Измерения проводили на приборе Tail-Flick Analgesia Meter 0104-301M (Columbus Instruments, USA). Осуществляли 3 предъявления свето-термального раздражителя с последующим расчетом среднего значения ЛПРОХ в секундах у каждого животного.

Эмоциональный компонент боли оценивали по порогу вокализации животных (ПВ, мА) в ответ на электрокожное раздражение хвоста по оригинальному методу «электрокожной стимуляции хвоста», разработанному в НИИ нормальной физиологии имени П. К. Анохина РАМН [10]. Кроме ПВ, учитывали также и время до наступления первой реакции животного на боль, проявлявшейся в виде вздрагивания хвоста, – латентный период болевой реакции (ЛПБР). Для проведения теста применяли электростимулятор SEN-3201 (Nihon Kohden, Япония). Использовали следующие параметры электростимуляции: частота 10 Гц, длительность импульса 0,5 мс. Силу тока постепенно увеличивали от 0,25 до 10 мА до появления реакции вокализации (писка) у крыс.

Все исследования были выполнены на оборудовании лаборатории эмоционального стресса ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина» (г. Москва, Российская Федерация) в рамках реализации проекта Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР, К3.11/2015/САМ1/2».

Экспериментальные крысы были разделены на 6 групп. Перед выполнением экспериментов у животных каждой группы в исходном состоянии измеряли их фоновые ноцицептивные пороги в тестах «tail-flick» и электрокожной стимуляции хвоста. После этого животным с помощью одноразовых пластиковых шприцов вводили определенные тестируемые вещества. Через 1 час после инъекций тестируемых веществ снова определяли ноцицептивные пороги в тестах «tail-flick» и электрокожной стимуляции хвоста. По исследованиям зарубежных авторов, в экспериментах на лабораторных мышах было показано, что анальгетическая активность этанольного экстракта семян мари белой обнаруживалась именно через 1 час после инъекций в формалиновом тесте [8], а также в тесте tail-flick [9].

Крысам контрольной группы (n=10) однократно вводили внутривентриально по 0,5 мл физиологического раствора (0,9 % NaCl).

Животные групп I (n=10) и II (n=10) получали однократно внутривентриально инъекцию экстракта семян *Chenopodium album* L., содержащую белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 5000 Да в дозах 85 и 850 мкг/кг соответственно, а группы III (n=10) – экстракт семян *Chenopodium album* L., содержащий низкомолекулярные компоненты с молекулярной массой до 1500 Да. Исследуемые экстракты были получены в ФГБУН «Институт биоорганической химии РАН им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова» (Москва, Россия).

Животные групп IV (n=10) и V (n=10) получали однократно внутривентриально инъекцию липополисахарида «Пирогенал» (далее – ЛПС) производства Филиала

«Медгамал» ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи» Министерства здравоохранения Российской Федерации в дозе 30 мкг/кг, растворенного в 0,5 мл физиологического раствора. Известно, что внутрибрюшинная инъекция крысам ЛПС в этой дозе сопровождается развитием гипертермии, которая служит маркером изменения интенсивности иммунных процессов при антигенном воздействии [11, 12]. В то же время ЛПС в этой дозе не обладает той степенью токсичности, которая может привести к сепсису и последующему летальному исходу у экспериментальных животных. На 4 день после инъекции ЛПС у животных измеряли ноцицептивные пороги в тестах «tail-flick» и «электрокожная стимуляция хвоста». Затем крысам группы IV осуществляли внутрибрюшинную инъекцию экстракта семян *Chenopodium album* L., содержащего белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да в дозе 850 мкг/кг, а группы V – экстракта, содержащего белково-пептидные компоненты с молекулярной массой до 1500 Да в дозе 85 мкг/кг. Через 1 час после инъекций снова измеряли ноцицептивные пороги животных в тестах «tail-flick» и электрокожной стимуляции хвоста.

Результаты экспериментов обрабатывали с помощью статистического пакета программ STATISTICA 12. Достоверность различий между группами крыс определяли с помощью непараметрического критерия Вилкоксона. Принятый уровень значимости межгрупповых отличий составлял 5 %. Графическая визуализация данных выполнена в программном пакете GraphPad Prism 6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У контрольной группы крыс в исходном состоянии и после введения физиологического раствора не было обнаружено статистически значимых различий порогов ноцицептивных реакций (рис. 1).

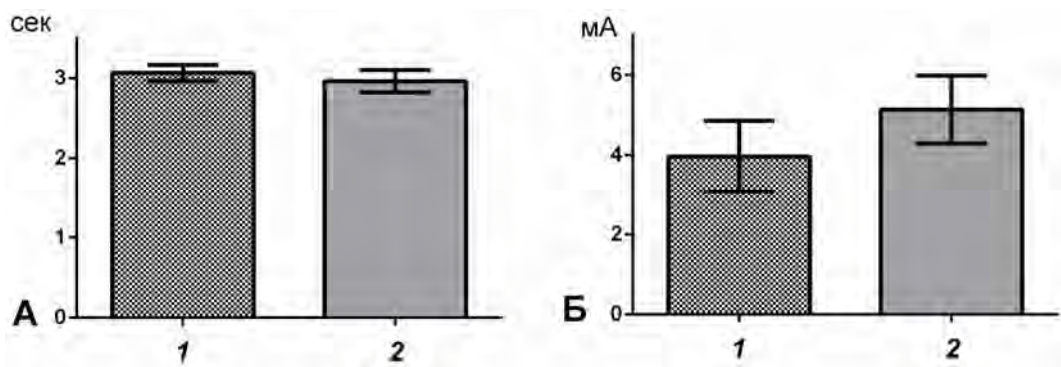


Рис. 1. Ноцицептивные пороги у контрольной группы крыс: ЛПРОХ (А) и ПВ (Б) в исходном состоянии (1) и после введения физиологического раствора (2).

В тесте «tail-flick» было обнаружено, что экстракт семян *Chenopodium album* L.

в дозе 850 мкг/кг, содержащий преимущественно белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да, через 1 час после инъекции достоверно увеличивал ЛПРОХ по сравнению с исходным состоянием на 20,51 % (с $2,73 \pm 0,09$ до $3,29 \pm 0,14$ с. соответственно, $p < 0,01$; рис. 2). Полученные данные свидетельствуют, что исследуемый экстракт в дозе 850 мкг/кг подавляет перцептуальный компонент ноцицепции у крыс. Это согласуется с предыдущими экспериментами в тесте «горячая вода», в которых было показано, что тотальный белково-пептидный экстракт семян *Chenopodium album L.* в дозе 850 мкг/кг увеличивал через 30 мин. после инъекции ЛПРОХ по сравнению с контролем [7].

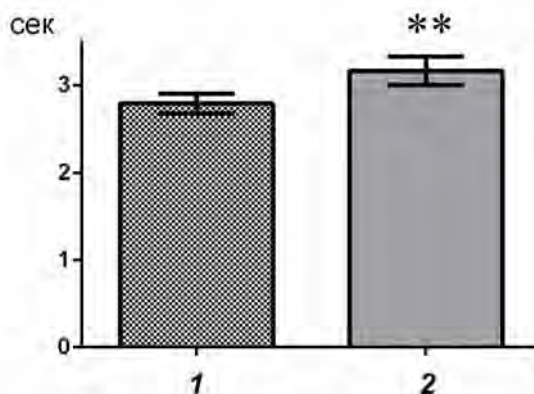


Рис. 2. Ноцицептивный порог (ЛПРОХ) в тесте «tail-flick» у крыс в исходном состоянии (1) и через 1 час после инъекции экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозе 850 мкг/кг (2), содержащего преимущественно белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да (2).

Примечание: ** – достоверность различий по сравнению с контролем ($p < 0,01$).

В тесте «электрокожная стимуляция хвоста» через 1 час после инъекции экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозе 85 мкг/кг, содержащего преимущественно белково-пептидные компоненты с молекулярной массой до 1500 Да, по сравнению с исходным состоянием наблюдалось достоверное увеличение ПВ на 28,36 % (с $5,50 \pm 0,76$ до $7,06 \pm 0,81$ мА соответственно, $p < 0,05$; рис. 3А), тогда как ЛПБР достоверно не изменялся (рис. 3Б). Эти данные согласуются с результатами исследований [7], продемонстрировавших увеличение ноцицептивного порога у крыс в тесте «горячая пластина» через 30 мин. после инъекции тотального белково-пептидного экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозе 85 мкг/кг.

На 4-й день после инъекции ЛПС у животных IV группы достоверно снижались ЛПБР на 31,82 % (с $0,88 \pm 0,04$ до $0,60 \pm 0,06$ мА, $p < 0,05$, рис. 4А) и ПВ на 43,15 % (с $7,00 \pm 0,12$ до $3,98 \pm 0,64$ мА, $p < 0,01$, рис. 4, Б) соответственно, что свидетельствует об усилении иммунного компонента боли. Это согласуется с литературными сведениями о действии ЛПС [11, 12].

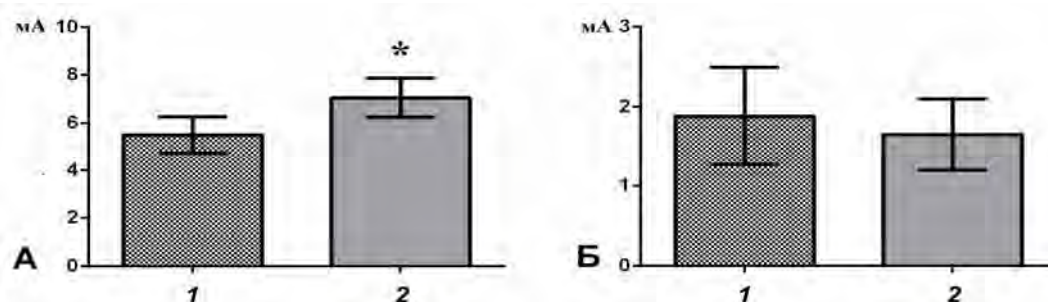


Рис. 3. Ноцицептивные пороги в тесте «электрокожная стимуляция хвоста» у крыс в исходном состоянии (1) и через 1 час после инъекции экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозе 85 мкг/кг (2), содержащего белково-пептидные компоненты с молекулярной массой до 1500 Да.

Примечание: А – порог вокализации (ПВ), Б – латентный период болевой реакции (ЛПБР); * – достоверность различий по сравнению с исходным состоянием ($p < 0,05$).

Через 1 час после инъекции экстракта семян мари белой в дозе 850 мкг/кг, содержащего преимущественно белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да, на фоне ЛПС ПВ частично восстанавливался до исходного уровня, так как ПВ возрастал на 26,43 % (с $3,98 \pm 0,64$ до $5,83 \pm 0,62$ мА, $p < 0,05$; рис. 4Б). Это указывает на наличие анальгетических свойств исследуемого экстракта, связанных с иммуномодулирующими свойствами и воздействием на иммунный компонент ноцицепции.

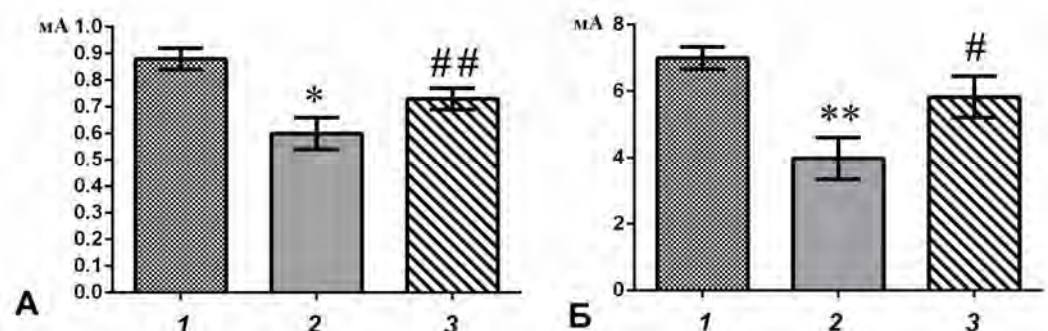


Рис. 4. Ноцицептивные пороги вокализации у крыс в исходном состоянии (1), на 4-й день после инъекции ЛПС в дозе 30 мкг/кг (2) и через 1 час после инъекции экстракта семян *Chenopodium album L.* в дозе 850 мкг/кг (3), содержащего среднемолекулярные белково-пептидные фракции (от 1500 до 6000 Да), на фоне ЛПС (30 мкг/кг).

Примечание: А – латентный период болевой реакции (ЛПБР), Б – порог вокализации (ПВ); * и ** – достоверность различий по сравнению с исходным состоянием (при $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно); # и ## – достоверность различий по сравнению с эффектом ЛПС (при $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно).

У животных V группы в аналогичных условиях в отношении ЛПБР достоверных изменений не было обнаружено ни на 4-й день после инъекции ЛПС, ни через 1 час после инъекции экстракта, содержащего низкомолекулярные белково-пептидные компоненты до 1500 Да в дозе 85 мкг/кг, на фоне ЛПС (рис. 5А). ПВ на 4-й день после инъекции ЛПС достоверно снижался на 37,43 % (с $5,45 \pm 0,85$ до $3,41 \pm 0,67$ мА, $p < 0,05$; рис. 5Б), что свидетельствует об увеличении иммунного компонента боли под действием ЛПС. Однако инъекция на фоне ЛПС в дозе 30 мкг/кг экстракта, содержащего низкомолекулярные белково-пептидные компоненты до 1500 Да (85 мкг/кг), не приводила к существенным изменениям ПВ по сравнению с эффектом ЛПС (30 мкг/кг).

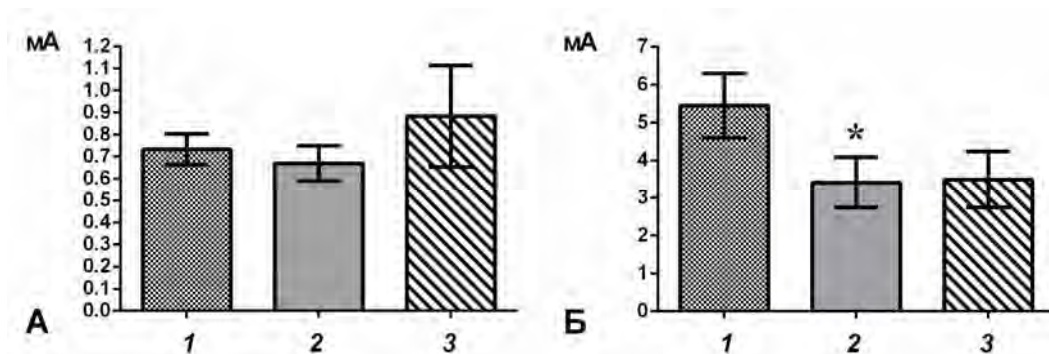


Рис. 5. Ноцицептивные пороги вокализации у крыс в исходном состоянии (1), на 4-й день после инъекции ЛПС в дозе 30 мкг/кг (2) и через 1 час после инъекции экстракта семян *Chenopodium album* L. в дозе 85 мкг/кг (3), содержащего низкомолекулярные белково-пептидные фракции (до 1500 Да), на фоне ЛПС (30 мкг/кг).

Примечание: А – латентный период болевой реакции (ЛПБР), Б – порог вокализации (ПВ); * – достоверность различий по сравнению с исходным состоянием (при $p < 0,05$).

Таким образом, низко- и средномолекулярные белково-пептидные фракции экстрактов семян *Chenopodium album* L. в определенных дозах обладают выраженными анальгетическими свойствами, физиологический механизм которых в зависимости от молекулярной массы содержащихся компонентов связан с перцептуальным и иммунным компонентами ноцицепции (среднемолекулярные фракции) либо с эмоциональным компонентом (низкомолекулярные фракции).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был проведен поиск анальгетических эффектов низко- и средномолекулярных белково-пептидных фракций экстрактов семян мари белой (*Chenopodium album* L.), изучено их влияние на перцептуальный, эмоциональный и иммунный компоненты боли у крыс.

1. В тесте «tail-flick» было обнаружено, что экстракт семян *Chenopodium album* L. в дозе 850 мкг/кг, содержащий преимущественно белково-пептидные

компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да, через 1 час после инъекции подавляет перцептуальный компонент ноцицепции у крыс, достоверно увеличивая ($p < 0,01$) латентный период отведения хвоста по сравнению с исходным состоянием на 20,51 %.

2. В тесте «электрокожная стимуляция хвоста» показано, что по сравнению с исходным состоянием через 1 час после инъекции экстракт семян *Chenopodium album* L. в дозе 85 мкг/кг, содержащий преимущественно пептидные компоненты с молекулярной массой до 1500 Да, подавляет эмоциональный компонент ноцицепции, достоверно увеличивая порог вокализации на 28,36 % ($p < 0,05$).
3. На фоне инъекции липополисахарида пирогенала показано, что экстракт семян *Chenopodium album* L. в дозе 850 мкг/кг, содержащий преимущественно белково-пептидные компоненты с молекулярной массой от 1500 до 6000 Да, ослабляет алгический эффект пирогенала, воздействуя на иммунный компонент ноцицепции.

Работа выполнена в рамках реализации проекта Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР, КЗ.11/2015/САМ1/2», а также в рамках научной деятельности центра коллективного пользования «Экспериментальная физиология и биофизика» Таврической академии (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского».

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. Merskey H. Classification of chronic pain: descriptions of chronic pain syndromes and definitions of pain terms / H. Merskey, N. Bogduk. – Seattle: IASP Press, 1994. – 240 p.
2. Бондаренко Д. А. In vivo модели для изучения анальгетической активности / Д. А. Бондаренко, И. А. Дьяченко, Д. И. Скобцов [и др.] // Биомедицина. – 2011. – № 2. – С. 84–94.
3. Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым <http://crimea.gks.ru> (дата обращения 17.08.2017).
4. Венгеровский А. И. Фармакология / А. И. Венгеровский. – М.: Физ.-мат. лит., 2007. – 704 с.
5. Насонов Е. Л. Применение нестероидных противовоспалительных препаратов: терапевтические перспективы / Е. Л. Насонов // Рос. мед. журн. – 2002. – Т. 10, № 4. – С. 148.
6. Левашова О. Л. Поиск и создание анальгетиков природного происхождения / О. Л. Левашова, В. П. Гапоненко // Світ медицини та біології. – 2015. – № 2 (50). – С. 144–146.
7. Черетаев И. В. Анальгетическая активность тотального белково-пептидного экстракта семян мари белой (*Chenopodium album* L.) / И. В. Черетаев, Е. А. Рогожин, Д. Р. Хусаинов // Экспериментальная и теоретическая биофизика'14: Международная конференция молодых ученых, 27–29 октября 2014 г. – Пушино: Fix-Print, 2014. – С. 80–81.
8. Antipruritic and antinociceptive effects of *Chenopodium album* L. in mice / Y. Dai, W. C. Ye, Z. T. Wang [et al.]. // Journal of Ethnopharmacology. – 2002. – Vol. 81. – P. 245–250.

9. Ahmad M. Evaluation of spasmolytic and analgesic activity of ethanolic extract of *Chenopodium album* Linn and its fractions / M. Ahmad, O. A. Mohiuddin, E. Mehjabeen // *Journal of Medicinal Plants Research*. – 2012. – Vol. 6 (31). – P. 4691–4697.
10. Абрамов Ю. Б. Анализ порогов болевой реакции у крыс с различной устойчивостью к эмоциональному стрессу / Ю. Б. Абрамов, А. Ю. Козлов, Л. В. Мезенцева // *Боль*. – 2006. – № 3. – С. 12–15.
11. Абрамова А. Ю. Ноцицептивные пороги и показатели гипертермии у крыс при действии липополисахарида (пирогенала) / А. Ю. Абрамова, Ю. Б. Абрамов // *Бюлл. exper. биол. мед.* – 2011. – Т. 152. – № 8. – С. 124–127.
12. Абрамова А. Ю. Липополисахариды и ноцицепция / А. Ю. Абрамова, С. С. Перцов // *Российский журнал боли*. – 2014. – № 2. – С. 30–38.

INFLUENCE OF LOW AND MEDIUM MOLECULAR PROTEIN AND PEPTIDE FRACTIONS IN EXTRACTS SEEDS OF *CHENOPODIUM ALBUM L.* ON COMPONENTS OF PAIN IN RATS

Cheretaev I. V.¹, Chaika A. V.¹, Pertsov S. S.², Kozlov A. Yu.², Rogozhin E. A.³

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

²*Federal State Scientific Institution "Research Institute of Normal Physiology P.K. Anohina", Moscow, Russia*

³*Federal State Budgetary Educational Institution of the Higher Education "A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*

⁴*Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

E-mail: cheretaev86@yandex.ru

The work studied the analgesic activity different doses of extracts *Chenopodium album L.*, containing small and medium molecular protein-peptide fractions and evaluated their impact on perceptual, emotional, and immune pain components in rats in normal conditions and 1 hour after intraperitoneal administration to laboratory rats. The experiments were performed on 60 male rats Wistar weighing 220–260 g, which were divided into 6 groups. The effect of the tested extracts on the perceptual component of pain was assessed in the test "tail-flick" and emotional – on the verge of vocalizing animals in response to electrocutaneous stimulation of the tail in the test "electrocutaneous stimulation of the tail." Part of the immune component of pain in the physiological effect of the investigated extracts was determined against the background of the injection of lipopolysaccharide, with immunomodulatory properties, using the test "tail-flick" and "electrocutaneous stimulation of the tail".

Before performing the experiments animals of each group in the initial state measured their baseline nociceptive thresholds in the test "tail-flick" and "electrocutaneous stimulation of the tail." Then the animals using disposable plastic syringes were introduced specific the test substance. 1 hour after injection of the test's substances were again determined nociceptive thresholds in the test "tail-flick" and "electrocutaneous stimulation of the tail".

Rats in the control group (n=10) was administered once intraperitoneally 0.5 ml of physiological solution (0.9-% NaCl). Animals of groups I (n=10) and II (n=10) received

intraperitoneal injections once the seed extract *Chenopodium album L.*, containing protein-peptide components with molecular weight from 1500 to 5000 Da in doses of 85 and 850 $\mu\text{g/kg}$ respectively. Animals of group III ($n=10$) received intraperitoneal injections the seed extract *Chenopodium album L.* containing low molecular weight components with a weight up to 1500 Da (85 $\mu\text{g/kg}$). The investigated extracts obtained in the Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia). Animals of groups IV ($n=10$) and V ($n=10$) were given once intraperitoneally injection of lipopolysaccharide pyrogenalum in a dose of 30 $\mu\text{g/kg}$ dissolved in 0.5 ml of saline. On the 4th day after the injection of pyrogenalum the animals were measured nociceptive thresholds in the test "tail-flick" and "electrocutaneous stimulation of the tail". Then the rats of group IV carried out by intraperitoneal injection of seed extract *Chenopodium album L.*, containing protein-peptide components with molecular weight from 1500 to 6000 Da at a dose of 850 $\mu\text{g/kg}$. Animals of group V of an extract containing protein and peptide components with molecular weight up to 1500 Da in a dose of 85 $\mu\text{g/kg}$, 1 hour after injection was measured again nociceptive thresholds of the animals in the test "tail-flick" and "electrocutaneous stimulation of the tail."

The experimental results were processed using statistical software package STATISTICA 12. The significance of differences between groups of rats was determined using the nonparametric Wilcoxon test. The adopted level of significance of intergroup differences was 5 %.

In the test "tail-flick" it was discovered, that the seed extract *Chenopodium album L.* (850 $\mu\text{g/kg}$) containing mainly protein-peptide components with molecular weight from 1500 to 6000 Da, 1 hour after injection suppresses the perceptual component of nociception in rats, significantly increasing ($p<0.01$) latent period of diversion of the tail compared to the initial state by 20.51 %.

In the test, "electrocutaneous stimulation of the tail" it is shown that compared to baseline 1 hour after injection of the seed extract *Chenopodium album L.* at a dose of 85 $\mu\text{g/kg}$, containing primarily peptide components with molecular weight up to 1500 Da, suppresses the emotional component of nociception, significantly increasing the threshold vocalizations by 28.36 % ($p<0.05$).

On the background of injection of lipopolysaccharide pyrogenalum shown that the seed extract *Chenopodium album L.* at a dose of 850 $\mu\text{g/kg}$ containing mainly protein-peptide components with a molecular weight of from 1500 to 6000 Da, weakens algesic effect of pyrogenalum, by acting on the immune component of nociception.

All studies was performed on equipment laboratory of emotional stress Federal State Scientific Institution "Research Institute of Normal Physiology P.K. Anohina" (Moscow, Russian Federation) in the framework of the draft Programme of Development of V. I. Vernadsky Crimean Federal University in 2015–2024 years.

Keywords: perceptual, emotional, and immune components of pain, *Chenopodium album L.*, protein-peptide extracts, lab rats, the test "tail-flick", test "electrocutaneous stimulation of the tail", pyrogenalum.

References

1. Merskey H., Bogduk N. *Classification of chronic pain: descriptions of chronic pain syndromes and definitions of pain terms*, 240 p. (Seattle, IASP Press, 1994).
2. Bondarenko D. A., D'jachenko I. A., Skobcov D. I. [i dr.], In vivo modeli dlja izuchenija anal'geticheskoj aktivnosti, *Biomedicina*. 2. (2011).
3. Oficial'nyj sajt territorial'nogo organa Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Respublike Krym <http://crimea.gks.ru> (data obrashhenija 17.08.2017).
4. Vengerovskij A. I. *Farmakologija*, 704 p. (Moscow, Fiz.-mat. lit., 2007).
5. Nasonov E. L., Primenenie nesteroidnyh protivovospalitel'nyh preparatov: terapevticheskie perspektivy, *Ros. med. zhurn.* 10. 4. (2002).
6. Levashova O. L., Gaponenko V. P., Poisk i sozdanie anal'getikov prirodnogo proishozhdenija, *Svit medicini ta biologii*. 50. 2. (2015).
7. Chereetaev I. V., Rogozhin E. A., Husainov D. R., Anal'geticheskaja aktivnost' total'nogo belkovo-peptidnogo jekstrakta semjan mari beloju (*Chenopodium album L.*), *Jeksperimental'naja i teoreticheskaja biofizika '14 : Mezhdunarodnaja konferencija molodyh uchjonyh 27-29 oktjabrja 2014 g.* (Pushhino, Fix-Print, 2014).
8. Dai Y., Ye W.C., Wang Z.T. [et al.]. Antipruritic and antinociceptive effects of *Chenopodium album L.* in mice, *Journal of Ethnopharmacology*. 81. (2002).
9. Ahmad M., Mohiuddin O. A., Mehjabeen E. Evaluation of spasmolytic and analgesic activity of ethanolic extract of *Chenopodium album Linn* and its fractions, *Journal of Medicinal Plants Research*. 6. 31. (2012).
10. Abramov Ju. B., Kozlov A. Ju., Mezenceva L. V., Analiz porogov bolevoj reakcii u krysv s razlichnoj ustojchivost'ju k jemocional'nomu stressu, *Bol'*. 3. (2006).
11. Abramova A. Ju., Abramov Ju. B., Nociceptivnye porogi i pokazateli gipertermii u krysv pri dejstvii lipopolisaharida (pirogenala), *Bjull. jeksper. biol. med.* 8. (2011).
12. Abramova A. Ju., Percov S. S., Lipopolisaharidy i nocicepcija, *Rossijskij zhurnal boli*. 2. 2014.

УДК 581.1:661.691.9

НАНОСЕЛЕН КАК ИНДУКТОР СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Юркова И. Н., Омельченко А. В., Пидгайна Е. С.

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

Впервые установлен протекторный эффект наноконпозиции селена на зерновых и декоративных культурах в условиях моделируемого засоления. На примере пшеницы и бархатцев показано, что обработка семян наноселеном снижала угнетение засолением роста 7-дневных проростков. Установлено, что наноселен снижал угнетение прироста сухого вещества как корней, так и надземной части. На бархатцах наноселен оказывал протекторное действие при более низких концентрациях, чем на пшенице.

Ключевые слова: наноселен, солеустойчивость, пшеница, бархатцы.

ВВЕДЕНИЕ

В результате деятельности человека постоянно увеличиваются площади засоленных территорий. Засоленные почвы занимают почти четверть поверхности суши, включая половину всех орошаемых земель. Так, почвы в орошаемых районах со временем становятся все более засоленными, поскольку в условиях сухого климата фактически вся поливная вода испаряется. Это наблюдается и при внесении повышенных доз минеральных удобрений. Последствия почвенного засоления проявляются в снижении продуктивности растений, в нарушении генетического биоразнообразия и в серьезных экономических потерях [1]. Поэтому устойчивость культурных растений к засолению является актуальной проблемой растениеводства в связи с необходимостью повышения урожая на таких почвах. Увеличение площади засоленных территорий негативно влияет не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и на декоративные и лекарственные растения, а также на охрану редких и исчезающих видов растений [2].

Интенсивное антропогенное использование естественных растительных ресурсов, а также экстремальные условия произрастания (засуха, подтопление земель, засоление почв, резкие колебания температуры) приводят к деградации коренных сообществ, изменению их структуры, снижению численности видов и исчезновению некоторых из состава сообществ. В основе солеустойчивости культурных растений лежат специфические адаптационные механизмы, связанные с разными уровнями структурной организации растений от молекулярного до организменного [3].

Важнейшее значение в регуляции процессов стрессоустойчивости растительной клетки имеют фитогормоны [4]. На содержание отдельных групп фитогормонов (цитокининов и гиббереллинов) значительное действие оказывает селен [5, 6].

Селен обладает антиоксидантным эффектом в клетках животных и человека. Однако работ по влиянию селена на антиоксидантную систему защиты растительных организмов очень мало. Большинство исследований посвящено изучению обогащения культурных растений селеном в связи с его низким содержанием в почвах [7–9].

Биологическая активность селена зависит от его формы: селенит- и селенатионы более токсичны, чем наноразмерный селен. Наночастицы селена являются биологически доступными и обладают пролонгированным действием. Однако влияние различных форм селена на стрессоустойчивость культурных растений остается недостаточно изученным [10].

Целью настоящей работы было исследование действия наноселена, стабилизированного альгинатом натрия, на солеустойчивость зерновых и декоративных культурных растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве биологических объектов исследования были выбраны семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Подолянка и бархатцев отклоненных (*Tagetes patula* L.), широко используемых в ландшафтном дизайне городской среды. Представители рода *Tagetes* используются повсеместно не только в декоративном садоводстве и озеленении, но и в качестве сырья для пищевой и парфюмерно-косметической промышленности, медицины, фармакологии, а также для фиторемедиации почв, загрязненных углеводородами [11].

В качестве селена применяли водорастворимую композицию наноселена, стабилизированную альгинатом натрия. Нанокоспозицию селена получали путем восстановления селенистокислого натрия L-цистеином и стабилизацией альгинатом натрия (натриевая соль альгиновой кислоты, BioChemika) [12]. Для усиления адгезии наночастиц к поверхности семян в композицию наноселена добавляли поверхностно-активное вещество «Липосам» (комплекс экзополимеров полезных микроорганизмов) в концентрации 25,0 мг/л.

Как было показано ранее, оптимальная концентрация наноселена, влияющая на пророст сухой массы проростков яровой пшеницы, составляла 20,0–50,0 мг/л [13].

Поэтому для исследования протекторного действия наноселена в условиях моделируемого хлоридного засоления семена пшеницы обрабатывали методом инкрустации нанокоспозицией селена в концентрации 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 и 50,0 мг/л (по селену). Для инкрустации семян бархатцев применяли более низкие концентрации селена 5,0; 10,0; 20,0 и 30,0 мг/л (по селену). Затем семена высушивали и помещали в чашки Петри с фильтровальной бумагой, в которые вносили по 10 мл (для семян пшеницы) или 5 мл (для семян бархатцев) 100 мМ раствора NaCl в дистиллированной воде. Проращивание семян осуществлялось в течение 7 суток в термостате при температуре 24 °С. Контролем служили семена, обработанные прилипателем без наноселена. Биомассу проростков корней и

надземной части измеряли гравиметрическим методом на 7 сутки, фиксируя растительный материал в течение 5 мин. при 110 °С и доводя его до постоянной массы при 60 °С.

Эксперименты проводили в 3-кратной биологической повторности. Статистическую обработку полученных результатов проводили по Г. Ф. Лакину [14], в таблицах представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов результатов показал, что проявление антистрессовых свойств наноселена на яровой пшенице и бархатцах значительно отличается (табл. 1 и 2).

Наибольшее стимулирующее влияние на солеустойчивость наноселен оказывал на яровую пшеницу. Из результатов, приведенных в табл. 1, видно, что масса сухого вещества корней и надземной части у 7-дневных проростков пшеницы, выращенных в контрольном эксперименте на дистиллированной воде, в 1,5 раза больше, чем в условиях моделируемого засоления (100 мМ NaCl). Уменьшение биомассы корней и надземной части отличается незначительно, что свидетельствует о достаточно высокой солеустойчивости данного сорта.

Увеличение накопления биомассы корней и надземной части проростков после обработки семян наноселеном по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена) наблюдалось во всем интервале исследованных концентраций (10,0–50,0 мг/л) и составляло 8,7–17,7 % и 5,2–15,7 % соответственно. Из приведенных результатов видно, что увеличение накопления сухого вещества корней было значительно выше, чем надземной части (табл. 1). Это хорошо согласуется с ранее полученными результатами [13].

В условиях солевого стресса обработка семян пшеницы наноселеном снижала угнетение ростовых характеристик проростков по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl). При этом наблюдался прирост биомассы как корней, так и надземной части, на 7,1–15,4 % и 3,1–11,5 % соответственно. Как видно из приведенных данных, тенденция увеличения стимуляции селеном биомассы корней по сравнению с надземной частью сохранялась.

В таблице 2 приведены результаты влияния обработки семян бархатцев наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков при хлоридном засолении в моделируемых условиях. Как видно из приведенных данных, засоление оказывало более негативное действие на прорастание семян бархатцев по сравнению с пшеницей. Масса сухого вещества корней и надземной части проростков бархатцев, выращенных в условиях хлоридного засоления, была в 1,6–1,9 раза меньше, чем в контрольном эксперименте (дистиллированная вода). При этом угнетение роста биомассы корней отмечалось на 20 % больше, чем надземной части. Такой неблагоприятный фактор внешней среды как засоление, оказывая негативное действие на рост растений, уменьшает их способность поглощать воду. Корни, в отличие от побегов, постоянно находятся в контакте с засоленной почвой, поэтому высокие концентрации солей сильнее угнетают рост корней, чем надземных органов [15].

Стимуляция роста биомассы корней и надземной части проростков бархатцев после обработки семян наноселеном по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена) отмечалась во всем интервале исследованных концентраций (5,0–30,0 мг/л), однако максимальные значения массы сухого вещества корней и надземной части проростков наблюдались при концентрации наноселена 5,0–10,0 мг/л и составляли 12,3–19,2 % и 12,2–15,3 % соответственно.

Таблица 1

Влияние обработки семян пшеницы наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков в условиях моделируемого засоления
($\bar{x} \pm S_x$)

Вариант опыта	Масса сухого вещества			
	корни, мг	надземная часть, мг	корни, %	надземная часть, %
Контроль 1 (без Se⁰, H₂O)	3,07±0,13	2,98±0,12	100,0	100,0
Se ⁰ 10,0 мг/л (H ₂ O)	3,34±0,13	3,13±0,14	108,7	105,2
Se ⁰ 20,0 мг/л (H ₂ O)	3,53±0,14	3,30±0,13	114,9	110,9
Se ⁰ 30,0 мг/л (H ₂ O)	3,61±0,15	3,38±0,15	117,7	113,6
Se ⁰ 40,0 мг/л (H ₂ O)	3,50±0,14	3,45±0,14	114,0	115,7
Se ⁰ 50,0 мг/л (H ₂ O)	3,47±0,13	3,39±0,14	113,0	113,7
Контроль 2 (без Se⁰, 100 мМ NaCl)	1,92±0,12	1,98±0,11	100,0	100
Se ⁰ 10,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,06±0,15	2,04±0,14	107,1	103,1
Se ⁰ 20,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,15±0,15	2,10±0,15	111,9	106,2
Se ⁰ 30,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,22±0,17	2,17±0,15	115,4	109,5
Se ⁰ 40,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,17±0,16	2,21±0,16	112,6	111,5
Se ⁰ 50,0 мг/л (100 мМ NaCl)	2,12±0,15	2,20±0,15	110,7	111,2

Таблица 2

Влияние обработки семян бархатцев наноконпозицией селена на накопление биомассы 7-дневных проростков в условиях моделируемого засоления
($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

Вариант опыта	Масса сухого вещества			
	корни, мг	надземная часть, мг	корни, %	надземная часть, %
Контроль 1 (без Se⁰, H₂O)	2,55±0,12	2,13±0,12	100,0	100,0
Se ⁰ 5,0 мг/л (H ₂ O)	2,89±0,13	4,67±0,14	113,5	109,4
Se ⁰ 10,0 мг/л (H ₂ O)	3,04±0,14	4,81±0,15	119,2	115,3
Se ⁰ 20,0 мг/л (H ₂ O)	2,86±0,13	4,96±0,15	112,3	112,2
Se ⁰ 30,0 мг/л (H ₂ O)	2,73±0,13	5,05±0,16	107,0	103,7
Контроль 2 (без Se⁰, 100 мМ NaCl)	1,37±0,12	1,35±0,11	100,0	100,0
Se ⁰ 5,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,45±0,13	1,42±0,14	106,2	105,5
Se ⁰ 10,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,49±0,14	1,48±0,13	109,0	109,3
Se ⁰ 20,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,48±0,15	1,41±0,15	107,7	104,7
Se ⁰ 30,0 мг/л (100 мМ NaCl)	1,32±0,14	1,37±0,14	96,1	101,2

При сравнении приведенных результатов видно, что увеличение накопления сухого вещества корней бархатцев было значительно выше, у яровой пшеницы (табл. 2).

В условиях солевого стресса обработка семян бархатцев наноселеном снижала угнетение ростовых характеристик проростков по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl) только при концентрации наноселена 5,0–20,0 мг/л. При этом наблюдался прирост массы сухого вещества как корней, так и надземной части на 6,2–9,0 % и 5,5–9,3 % соответственно. Величина прироста массы корней и надземной части проростков отличалась незначительно. Дальнейшее увеличение концентрации селена приводило к уменьшению содержания сухого вещества корней, что свидетельствовало об усилении влияния солевого стресса. При этом масса надземной части была близка к контрольному значению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые исследован протекторный эффект наноконпозиции селена, полученной в матрице альгината натрия, на прирост сухого вещества проростков пшеницы и бархатцев на ранних этапах онтогенеза в условиях моделируемого хлоридного засоления.
2. Показано, что обработка семян пшеницы наноселеном снижала угнетение роста по сравнению с контрольным вариантом (без наноселена, 100 мМ NaCl). При этом наблюдался прирост сухого вещества как корней, так и надземной части, на 7,1–15,4 % и 3,1–11,5 % соответственно.
3. В условиях солевого стресса обработка семян бархатцев наноселеном снижала угнетение проростков по сравнению с контрольным вариантом при концентрации наноселена 5,0–20,0 мг/л, а прирост сухого вещества как корней, так и надземной части, увеличивался на 6,2–9,0 % и 5,5–9,3 % соответственно.

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. Бондаренко Д. А. In vivo модели для изучения анальгетической активности / Д. А. Бондаренко, И. А. Дьяченко, Д. И. Скобцов [и др.] // Биомедицина. – 2011. – № 2. – С. 84–94.
2. Kuznetsov V. V. Polyamines and plant adaptation to saline environments / V. V. Kuznetsov, N. I. Shevyakova // Desert Plants / Ed. Ramawat K.A. Heidelberg; Dordrecht; London; New York: SpringerVerlag, 2010. – P. 261–298.
3. Чуниховская В. Н. Выращивание лекарственных растений на солонцеватых почвах Крыма / В. Н. Чуниховская, Л. В. Житова // Научные труды Южного филиала национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки. – 2012. – № 149. – С. 66–70.
4. Ткачева М. С. К вопросу о солеустойчивости риса (обзор) / М. С. Ткачева, О. А. Досеева // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – Т. 105(01). – С. 1–15.
5. Физиологические механизмы повышения солеустойчивости растений рапса брассиностероидами / М. В. Ефимова, А. Л. Савчук, Дж. А. К. Хасан // Физиология растений. – 2014. – Т. 61, № 6. – С. 778–789.
6. Биологическая активность наноразмерного коллоидного селена / И. Н. Никонов, Ю. Г. Фолманис, Л. В. Коваленко [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 447, № 6. – С. 675–677.
7. Вихрева В.А. Влияние селена на рост, развитие и адаптивный потенциал козлятника восточного (*Galera orientalis*): автореф. дис. на соискан. учен. степ. канд. биол. наук / Валерия Александровна Вихрева. – М., 2001. – 28 с.
8. Голубкина Н. А. Аккумуляция селена зерновыми культурами России / Н. А. Голубкина // Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук. – 2007, № 5. – С. 6–9.
9. Ловкова М. Я. Лекарственные растения – концентраторы селена. Перспективы расширения спектра использования / М. Я. Левкова, С. М. Соколова, Г. Н. Бузук // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418, № 5. – С. 709–711.
10. Кашин В. К. Биологическое действие и накопление селена в пшенице в условиях селенодефицитной биогеохимической провинции / В. К. Кашин, О. И. Шубина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – № 19. – С. 151–156.

11. Пролонгированное воздействие ультрадисперсных порошков металлов на семена злаковых культур / В. Н. Селиванов, Е. В. Зорин, Е. Н. Сидорова [и др.] // Перспективные материалы. – 2001. – № 4. – С. 66–69.
12. Фиторемедиация как способ очистки и повышения биологической активности нефтезагрязненных почв / А. С. Григориади, Е. И. Новоселова, Н. А. Киреева // Аграрная Россия. – 2009. – Спецвыпуск. – С. 30–31.
13. Пат. 84626 МПК6 А 61 К 33/38, А 61 К 31/00. Спосіб отримання водорозчинної композиції наночастинок, яка містить наночастилки селену / І. М. Юркова, Е. П. Панова, Д. О. Панов, О. В. Омельченко: заявник і власник Таврійський національний університет; – № 201305453; заявл. 26.04.13; опубл. 25.10.13. Бюл. № 20.
14. Юркова И. Н. Защитно-стимулирующие свойства наноселена при инкрустации семян пшеницы / И. Н. Юркова, А. В. Омельченко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: «Биология, химия». – 2016. – Т. 2 (68). – № 2. – С. 79–85.
15. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
16. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages / M. Hasanuzzaman, K. Nahar, M. Fujita // Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress / Eds. Ahmad P., Azooz M.M., Prasad M.N.V. Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V., 2013. – P. 25–87.

NAANOSELENIUM AS AN INDUCER OF SALT TOLERANCE OF CEREALS AND ORNAMENTAL PLANTS

Jurkova I. N., Omel'chenko A. V., Pidgaynaya E. S.

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: nanosilver@rambler.ru*

As a result of anthropogenic factors, territory of saline areas is constantly increasing. Saline soils occupy almost a quarter of the land surface, including half of all irrigated land. The consequences of soil salinization are manifested in a decrease of plant productivity, in the violation of genetic biodiversity and in serious economic losses. Therefore, the resistance of cultivated plants to salinity is an urgent problem of crop production. The increase of saline areas negatively affects not only crop yields, but also ornamental and medicinal plants, as well as the protection of rare and endangered plant species. Phytohormones play a crucial role in the regulation of the plant stress resistance. The content of individual groups of phytohormones (cytokinins and gibberellins) is significantly affected by selenium. Selenium has an antioxidant effect in animal and human cells. However, very little work has been done on the effect of selenium on the antioxidant system of plants. The influence of various forms of selenium on the stress resistance of cultivated plants remains poorly understood.

The aim of this work was to study the effect of nanoselenium stabilized by sodium alginate on the salt tolerance of cereals and ornamental crops.

The objects of investigation were winter wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) of Podolyanka variety and French marigold (*Tagetes patula* L.). A water-soluble nanoselenium composition stabilized with sodium alginate was used in the experiments. To enhance the adhesion of nanoparticles to the surface of seeds, the surfactant «Liposam» was added to the nanoselenium composition.

For the first time, the protective effect of the selenium nanocomposite on the increase of the dry matter of wheat seedlings and marigold was studied. The research was conducted during early stages of ontogeny of plants under the conditions of simulated chloride salinity.

It was shown that the treatment of wheat seeds with nanoselenium reduced the inhibition of growth in comparison with control variant (without nanoselenium, 100 mM NaCl). At the same time, the dry matter content of both the roots and the above-ground part were observed to increase by 7.1–15.4 % and 3.1–11.5 %, respectively.

Under conditions of salt stress, treatment of marigold seeds with nanoselenium reduced the inhibition of seedlings as compared to the control variant at a concentration of 5.0–20.0 mg/L. Also increase in the dry matter was detected for both the roots and the above-ground part increased by 6.2–9.0 % and 5.5–9.3 %, respectively.

Keywords: nanoselenium, salt tolerance, wheat, marigold.

References

1. Kuznetsov V.I. V., Shevyakova N. I. Polyamines and plant adaptation to saline environments, *Desert Plants / Ed. Ramawat K.A. Heidelberg*; 261 (Dordrecht; London; New York: SpringerVerlag, 2010).
2. Chuniyovskaja V. N., Zhitova L. V., Vyrashhivanie lekarstvennyh rastenij na soloncevatyh pochvah Kryma, *Nauchnye trudy Juzhnogo filiala nacional'nogo universiteta bioresursov i prirodnopol'zovanija Ukrainy «Krymskij agrotehnologicheskij universitet»*. Serija: *Sel'skohozjajstvennye nauki*. **149**, 66-70 (2012).
3. Tkacheva M. S., Doseeva O. A. K voprosu o soleustojchivosti risa (obzor), *Nauchnyj zhurnal KubGAU*, **105** (01), 1-15 (2015).
4. Efimova M. V., Savchuk A. L., Hasan Dzh. A. K., Fiziologicheskie mehanizmy povyshenija soleustojchivosti rastenij rapsa brassinosteroidami, *Fiziologija rastenij*, **61**(6), 778-789 (2014).
5. Nikonov I. N., Folmanis Ju. G., Kovalenko L. V., Laptev G. Ju., Biologicheskaja aktivnost' nanorazmernogo kolloidnogo selena, *Doklady akademii nauk*, **447** (6), 675-677 (2012).
6. Vihreva V.A., Vlijanie selena na rost, razvitie i adaptivnyj potencial kozljatnika vostochnogo (*Galera orientalis*): avtoref. dis. kand. biol. Nauk, 28 p. (Moscow, 2001).
7. Golubkina N.A., Akkumulirovanie selena zernovymi kul'turami Rossii, *Doklady Rossijskoj Akademii sel'skohozjajstvennyh nauk*, **5**, 6-9 (2007).
8. Lovkova M.Ja., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Lekarstvennye rastenija – koncentraty selena. Perspektivy rasshirenija spektra ispol'zovanija, *Doklady Akademii nauk*, **418** (5), 709-711 (2008).
9. Kashin V.K., Shubina O.I. Biologicheskoe dejstvie i nakoplenie selena v pshenice v uslovijah selenodeficitnoj biogeohimicheskoj provincii, *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*, **19**, 151-156 (2011).
10. Selivanov V. N., Zorin E. V., Sidorova E.N, Prolongirovanoe vozdejstvie ul'tradispersnyh poroshkov metallov na semena zlakovyh kul'tur, *Perspektivnye materialy*, **4**, 66-69 (2001).
11. Grigoriadi A.S., Novoselova E.I., Kireeva N.A., Fitoremediacija kak sposob ochistki i povyshenija biologicheskoi aktivnosti neftezagryzennyh pochv, *Agrarnaja Rossija*, Specvypusk, 30-31 (2009).
12. Pat. 84626 MPK6 A 61 K 33/38, A 61 K 31/00. Sposib otrimannya vodorozchinnoi kompozitsii nanochastinok, yaka mistit' nanochastinki selenu / I.M. Yurkova, E.P. Panova, D.O. Panov, O.V. Omel'chenko : zayavnik i vlasnik Tavriys'kij natsional'nyj universitet; – № 201305453 ; zayavl. 26.04.13 ; opubl. 25.10.13. Byul. № 20.
13. Jurkova I. N., Omel'chenko A. V., Zashhitno-stimulirujushhie svojstva nanoselena pri inkrustacii semjan pshenicy, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo*. Serija: «*Biologija, himija*», **2** (68) **2**, 9-85 (2016).
14. Lakin G. F., *Biometrija* (Moskov, Vyssh. shk., 1990).
15. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages, *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress / Eds. Ahmad P., Azooz M.M., Prasad M.N.V.*, 25 (Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V., 2013).

УДК 599.6/73:630*15(234.86)

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ОЛЕНЬИХ (CERVIDAE) В ГОРНОМ КРЫМУ

Ярыш В. Л.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Карадагская научная станция
им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», Феодосия, Республика Крым, Россия
E-mail: galina.yarish65@gmail.com*

Приводятся данные многолетней динамики численности благородного оленя (*Cervus elaphus*) и косули европейской (*Capreolus capreolus*) в горно-лесной части Крымского полуострова на протяжении с 1980 по 2014 год. Средняя продолжительность периода колебания численности для крымского благородного оленя составляет 7,5 лет, разброс по показателю составляет 6–9 лет. Цикличность характеризуется приростом численности особей в течение 2–7 лет и последующим снижением численности в течение 1–6 лет. Для крымской косули средний показатель периода колебания численности составляет 4,6 лет, разброс – 2–9 лет. Цикличность изменения численности проявляется в чередовании периодов прироста и падения численности продолжительностью от 2 до 6 лет.

Ключевые слова: динамика численности, благородный олень (*Cervus elaphus*), косуля европейская (*Capreolus capreolus*), Горный Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Численность большинства видов животных изменяется по годам, и в течение ряда лет может изменяться под воздействием самых разных факторов. Наиболее действенным фактором колебаний численности является непостоянство условий существования [1, 2]. Ежегодным изменениям подвержены: обеспеченность кормами, сила давления хищников и паразитов, погодные условия и другие факторы, влияющие на выживание. В определенных условиях существенную роль играют внутривидовые механизмы регуляции численности. В последнее время практически повсеместно отмечается огромное влияние антропогенных факторов.

Колебания численности млекопитающих проявляются с определенной закономерностью. Практически у всех известных видов выявлены чередующиеся подъемы и спады численности, которые носят, как правило, циклический, волнообразный характер [3–5].

Автохтонные популяции оленя благородного (*Cervus elaphus brauneri* Charlemagnt, 1920) и косули европейской (*Capreolus capreolus capreolus* Linnaeus, 1758) в горнолесной части Крымского полуострова длительное время развиваются в условиях изоляции [6–8], и поэтому колебания их численности приобрели собственную периодичность.

Цель работы – представить данные о колебании численности оленя благородного и косули европейской в Горном Крыму за последние 30 лет и охарактеризовать их в рамках известных концепций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения многолетней динамики численности оленя благородного и косули европейской (рис. 1) в горнолесной части Крымского полуострова послужили данные Государственного комитета статистики Украины [форма № 2-тп-(охота)] за период 1980–2014 гг., а также данные проектов организации и развития охотничьего хозяйства охотничьих и лесохотничьих хозяйств и данные проектов организации территории, охраны, воспроизводства и рекреационного использования природных комплексов и объектов предприятий природно-заповедного фонда. Известно, что учеты животных на больших территориях имеют объективные недостатки [9], тем не менее их результаты адекватно отображают основные закономерности движения численности.

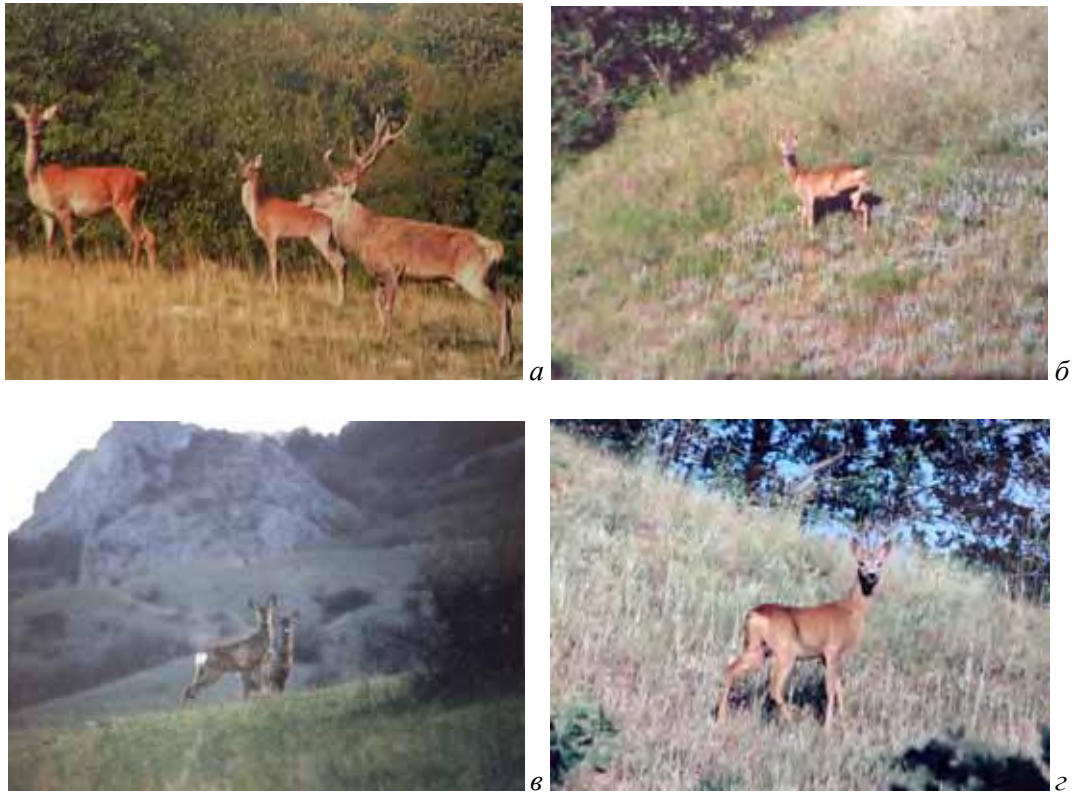


Рис.1. Олени в местах естественного обитания в крымском лесу
а – олени благородные (фото из [10]); б, в и г – косули европейские (фото Л. Сачкова).

Проанализированный временной отрезок (1980–2014 гг.) представляет интерес в историческом аспекте, поскольку отображает уровень охотничьего хозяйства последних лет советской эпохи, когда Крымские леса были вотчиной охоты партийной элиты; и периода формирования украинской государственности с перманентной политической нестабильностью и экономическими неурядицами, когда браконьерство нередко способствовало выживанию обнищавшего населения.

Математическую обработку данных проводили с использованием стандартных биометрических методик.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика биотопов обитания оленьих в горнолесном Крыму. При анализе лесов Горного Крыма можно выделить четыре основных типа биотопов, пригодных для проживания оленя и косули [11].

К первому типу относятся главным образом дубовые леса (с участием *Quercus pubescens* Willd. и *Q. petraea* Liebl.) с незначительным процентом других лиственных пород, иногда сосны, подлесок которых состоит из грабинника (*Carpinus orientalis* Mill.) (C₁₋₂-D₁₋₂). В дубравах, где в некотором количестве присутствуют другие породы – ясень (*Fraxinus excelsior* L.), липа трех видов (*Tilia* L.), – часто наблюдается отсутствие подлеска. В низкорослых дубняках, которые растут на шиферных сланцах, травяной покров иногда отсутствует. Изредка здесь встречаются небольшие участки сосны крымской (*Pinus pallasiana* Lamb.) и обыкновенной (*P. silvestris* L.).

Второй тип биотопов представляет леса ольхи черной (*Alnus glutinosa* Gaer.), подлесок которых составляют кизил (*Cornus mas* L.) и лещина (*Corylus* L.). Такие леса (C₄-D₄) располагаются вдоль долин рек. В первом и во втором типах бонитета олени и косули держатся на протяжении всего года.

Хвойные (сосновые) леса южного склона Главной гряды, которые состоят из сосны крымской и обыкновенной, иногда с примесью дуба, бука (*Fagus silvatica* L.), ясеня (*Fraxinus excelsior* L.), граба (*Carpinus orientalis* Mill.), трех видов клена (*Aser platanoides* L., *A. campestre* L., *A. stevenii* Pojark.) и других пород, можно выделить как третий тип биотопов (B₁₋₂-C₁₋₂). В таких лесах подлесок изреженный, а травяной покров незначительный.

Буковые леса составляют четвертый тип биотопов обитания оленя и косули. Они распространены в горно-лесном Крыму, как правило, выше 900 м н. у. м. Эти леса характеризуются бедным подлеском, травянистый покров в результате присутствия густой лиственной подстилки часто отсутствует совсем (C₂-D₂).

Подстилка мешает прорастанию семян большинства древесных пород, однако буковый подрост разного возраста развит хорошо, особенно на участках, где встречаются старые лесные насаждения. Кроме чистых буковых, встречаются леса с примесью дуба, граба и других пород. Такой лес светлый, в нем значительно лучше развит кустарниковый ярус и травянистый покров. Вкрапления сосны встречаются и в этом типе биотопов. Буковые леса по кормовой ценности значительно уступают дубовым [12]. Кроме того, в лесах верхней зоны наблюдается глубокий и длительный снеговой покров. По этой причине во время холодных и

многоснежных зим значительная часть животных осуществляет миграцию в дубравы.

Динамика численности оленей. Динамика численности оленя благородного и косули европейской в Горном Крыму за период с 1980 по 2013 годы представлена на рисунке 2. Из данных рисунка видно, что численность копытных на Крымском полуострове за исследованный период претерпевала значительные изменения. В частности, поголовье благородного оленя изменилось с 2203 особей в 1980 г. до 3009 особей в 2014 г., демонстрируя наивысшие показатели в 1989 г. – 3087 особей.

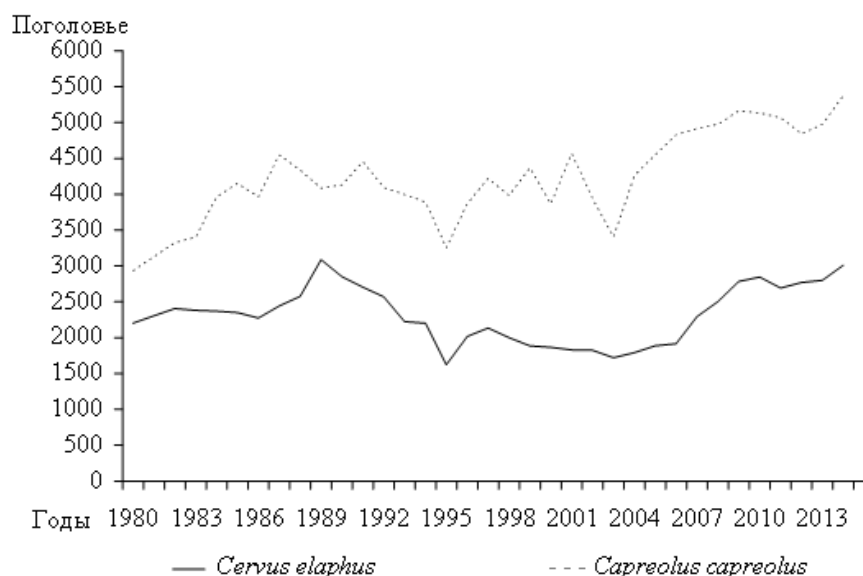


Рис.2. Динамика численности оленя благородного и косули европейской в Горном Крыму за период с 1980 по 2014 год

На протяжении исследуемого периода для упомянутого вида определено как минимум четыре полных цикла колебания численности, которые характеризуются разной амплитудой и длительностью:

1980–1986 гг. Поголовье оленя колебалось в пределах 2203–2273 особей с пиком численности в 1982 г. (2406 особей) – характеризуется наиболее низкими показателями прироста – 8,4 % и спада – 5,5 %;

1986–1995 гг. Численность животных колеблется в пределах 2273–1623 особей с максимальным показателем в 1989 г. (3087 особей) – темпы прироста и спада возросли в несколько раз – 26,4 % и 47,4 % соответственно;

1995–2003 гг. Численность оленя характеризуется более низкими абсолютными показателями – 1623–1719 особей (максимум в 1997 г. – 2134 особей), достаточно резким (2-х летним) приростом (23,4 %) и плавным (в течение 5 лет) снижением (19,5 %);

2003–2011 гг. Поголовье оленей значительно возросло: с 1719 особей до 2692 особей, при пике в 2010 г. (2846 особей). Прирост занимает значительный промежуток времени (7 лет) при наивысшем увеличении – 39,6 %. Снижение же численности – кратковременное и незначительное – 5,4 %;

Цикл с 2011 г. по 2014 г. вряд ли близок к завершению и, что вполне вероятно, – к достижению максимальных показателей. В данный момент можно констатировать 3099 оленей при увеличении поголовья на 13,1 %.

Таким образом, средний показатель периода колебания численности крымского благородного оленя составляет 7,5 лет (6–9 лет). Цикличность популяции характеризуется разнообразными темпами прироста (от 2 до 7 лет) и упадка (от 1 до 6 лет).

Поголовье косули в лесах Горного Крыма на протяжении 1980–2014 гг. характеризуется более высокими абсолютными показателями (2930–5367 особей), что указывает на значительный уровень ее экологической адаптации. В данный момент, численность вида достигла своих максимальных показателей. На протяжении указанного периода мы выделяем семь полных периодов колебания численности, амплитуда и длительность которых отличаются в несколько раз.

1980–1986 гг. Численность косули колеблется в пределах 2930–3962 особей с наивысшим абсолютным показателем в 1985 г. (4150 особей). Показатель прироста – 29,4 %, спада – 4,5 %;

1986–1989 гг. Численность колеблется в пределах 3962–4085 особей с наивысшим показателем в 1987 г. (4548 особей). Прирост – 12,9 %, спад – 10,2 %;

1989–1995 гг. Численность колеблется в пределах 4085–3251 особей с наивысшим показателем в 1991 г. (4452 особей). Прирост – 8,2 %, спад – 27,0 %;

1995–1998 гг. Численность колеблется в пределах 3251–3982 особей с наивысшим показателем в 1997 г. (4221 особей). Прирост – 23,0 %, спад – 16,96 %;

1998–2000 гг. Численность колеблется в пределах 3982–3866 особей с наивысшим показателем в 1999 г. (4368 особей). Прирост – 8,8 %, спад – 11,5 %;

2000–2003 гг. Численность колеблется в пределах 3866–3405 особей с максимальным показателем в 2001 г. (4566 особей). Прирост – 15,3 %, спад – 25,4 %;

Период с 2003 г. по 2012 г. (3405–4829 особей) не вписывается в общую схему цикличности многолетнего движения поголовья – как за длительностью, так и за конфигурацией амплитуды. В частности, плавное увеличение численности косули до 5152 особей в 2009 г. (на 33,9 %) явно не согласуется с его кратковременным и незначительным понижением – 6,3 %;

Цикл, который начался в 2012 г., видимо, только начался, хотя уже к 2014 г. численность косули (5367 особей) достигла максимального поголовья за всю историю 35-ти летних наблюдений.

Таким образом, средний показатель динамики численности крымской косули составляет 4,6 лет (2–9 лет). Цикличность ее популяции характеризуется относительно незначительными колебаниями и более или менее «повторяющейся» периодичностью (2–6 лет) до начала 2000-х годов. Затем наметились тенденции увеличения поголовья без каких-либо закономерностей.

Известно, что для копытных животных, которые отличаются крупными размерами, длительным периодом жизни, поздним половым созреванием и низкой плодовитостью, свойственен так называемый стабильный тип динамики численности населения (К-стратегия) [3, 13, 14], который, в свою очередь, характеризуется малой амплитудой и длительным периодом колебания численности (10–20 лет).

Периоды колебаний численности горнокрымских популяций благородного оленя и косули составляют соответственно 7,5 и 4,6 лет, что соответствует лабильному типу динамики населения (г-стратегия), который характерен для более мелких животных с коротким сроком жизни и большой плодовитостью. Заметим, что для упомянутого лабильного типа свойственны значительные амплитуды, когда численность изменяется в десятки раз, тогда как в нашем случае максимальные показатели изменения численности для оленя отмечаются в пределах 47,4 %, а для косули – 33,9 %.

Таким образом, для «островных» популяций крымского благородного оленя и косули имеем следующую картину: амплитуда колебаний численности популяций характеризуется естественным для них стабильным типом динамики населения, вместе с тем периодичность больше соответствует ее лабильному типу. Причиной такого парадокса мы усматриваем неполное соответствие исследуемых популяций копытных К-стратегии, поскольку в «классическом» случае речь идет о естественных популяциях животных, которые не подвергаются существенному влиянию со стороны человека [15]. Стоит заметить, что стабильному типу динамики населения присущ низкий уровень естественной смертности. В нашем же случае речь идет о группировках видов, которые на протяжении всего исторического времени были предметом постоянного и регулярного пользования [8].

В свое время Мак-Артур и Уилсон [16] разработали так называемую стратегию экологических концепций, суть которой сводится к тому, что успешное выживание и воспроизводство вида возможно или путем усовершенствования адаптивности и конкурентоспособности организмов, или же путем интенсификации размножения, что компенсирует повышенную гибель особей и в критических ситуациях позволяет быстро восстановить их численность. Первый путь чаще используется крупными формами с длительной продолжительностью жизни; второй присущ мелким животным со значительным процентом гибели и высокой плодовитостью.

Легко заметить, что типы экологических стратегий позитивно коррелируют с упомянутыми типами динамики населения. Вместе с тем И. А. Шилов [14] настаивает, что эти варианты не дискретны и между ними существует целый ряд переходов. Таким образом, каждый вид в своей адаптации к условиям существования комбинирует принципы разных стратегий в разнообразных соединениях.

Животные, эволюция которых на протяжении длительного времени происходила рядом с человеком и с учетом его хозяйственной деятельности (в первую очередь, это охотничьи виды), выработали ряд защитных механизмов, которые позволяют им противостоять влиянию антропогенного пресса. Речь идет о так называемом экологическом резерве (популяционном гомеостазе) [17], который присущ любой здоровой популяции и определяется возможностью компенсации естественной или спровоцированной деятельностью человека смертности путем интенсификации воспроизводства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании многолетних данных по динамике численности оленя благородного и косули европейской в горном Крыму с 1980 по 2014 год установлено, что период колебания численности благородного оленя колебался от 6-ти до 9-ти лет, в среднем 7,5 лет, а для косули европейской – от 2-х до 9-ти лет, при средней величине периода колебания численности – 4,6 года, что соответствует лабильному типу динамике населения (r-стратегия).

Для «островных» популяций крымского благородного оленя и косули амплитуда колебаний численности популяций характеризуется стабильным типом динамики населения с периодичностью, соответствующей лабильному типу.

Причина такой периодичности – в неполном соответствии популяции копытных K-стратегии, так как в нашем случае речь идет о группировках видов, которые на протяжении длительного времени были предметом постоянного и регулярного использования человеком.

Благодарности. Автор признателен д. б. н., профессору С. П. Иванову за плодотворное обсуждение материалов данной статьи и помощь в подготовке рукописи.

Список литературы

1. Макфедьен Э. Экология животных. / Макфедьен Э. – М.: Мир, 1965. – 375 с.
2. Одум Ю. Основы экологии. / Одум Ю. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
3. Северцов С. А. Динамика населения и приспособительная эволюция животных / Северцов С. А. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1941. – 316 с.
4. Поляков И. Я. Теоретическая сущность учения о периодичности массовых размножений полевок и мышей / Поляков И. Я. // Журн. общ. биол. – 1949. – Т. 10. – № 3. – С. 249–260.
5. Максимов А. А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз / Максимов А. А. – Новосибирск, 1984. – 249 с.
6. Крыжановский В. И. Благородный олень и косуля на Украине, их экология и перспективы хозяйственного использования. Автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.08. / Крыжановский В. И. – К.: Ин-т зоологии НАНУ, 1965. – 18 с.
7. Дулицкий А. И. Биоразнообразие Крыма. Млекопитающие. / Дулицкий А. И. – Симферополь: СОНАТ, 2001. – 208 с.
8. Волох А. М. Великі ссавці південної України в ХХ ст. (динаміка ареалів, чисельності, охорона та управління). Автореф. дис. докт. биол. наук: 03.00.08. / Волох А. М. – К.: Ін-т зоолгії НАНУ, 2004. – 35 с.
9. Дежкин В. В. Управление популяциями диких копытных // Итоги науки и техники. Зоология позвоночных. – М.: Изд-во ВИНТИ. / Дежкин В. В. – 1985. – Т. 13. – С. 66–138
10. Крымский природный заповедник. 85 лет. / Польщиков А. А., Лагода Ю. Ф., Руденко М. И. и др. – Симферополь: ООО Фирма «Салта» ЛТД, 2008. – 95 с.
11. Яриш В. Л. Типологічна характеристика біотопів існування ратичних Гірсько-лісового Криму / Мат. міжнар. наук.-практ. конф., присв. 150-річчю витоків кафедри лісівництва НЛТУ (21–23 вересня, 2006, Львів). – Львів: РВВ НЛТУ. – 2006. – С. 108–110.
12. Янушко П. А. Образ жизни крымских оленей и их влияние на естественное возобновление // Труды Крымского заповедно-охотничьего хозяйства / Янушко П. А. – Симферополь, 1957. – Вып. 4. – С. 107–138
13. Наумов Н. П. Экология животных. / Наумов Н. П. – М.: Высшая школа, 1963. – 618 с.
14. Шилов И. А. Экология. / Шилов И. А. – М.: Высшая школа, 1998. – 512 с.

15. Wynne-Edwards V. C. Population control in animals / Wynne-Edwards V. C. // *Scient. Amer.* – 1964. – 211. – №2. – P. 68–74.
16. MacArthur R. N. The theory of Island biogeography. / MacArthur R. N., Wilson E. D. – Princeton Univ. Press, Princeton, N.Y. – 1967. – 203 p.
17. Фолитарек С. С. Теоретические основы биотехники и обзор работ Карасукской биотехнической станции. / Фолитарек С. С. – Тр. Биол. Ин-та СО АН СССР. – 1980. – № 37. – С. 8–81.

LONG-TERM DYNAMICS OF QUANTITY DEER (CERVIDAE) IN MOUNTAIN CRIMEA

Yarysh V. L.

*Federal State Budget Institution of Science «T.I. Vyasemsky Karadag Scientific Station – Nature reserve of the RAS», Feodosia, Russian Federation
E-mail: galina.yarish65@gmail.com*

Analyzed time segment (1980–2014) is of interest in the historical aspect because it shows a level of hunting economy of the last years of the Soviet time, when the Crimean forests were the special land for hunting for the Communist Party elite, as well as the time of formation of the Ukrainian statehood with permanent political instability and economic confusions when poaching had often contributed to the survival of its impoverished population.

Autochthonous populations of the red deer and the European roe deer in the mountain-forest part of the Crimean Peninsula was developed in isolation for a long time, and it is natural to assume that fluctuations in their populations obtained its own frequency.

Animals whose evolution happened under human influence for a long time in particular economic activities (primarily hunting), have developed a number of protective mechanisms that allow them to resist the influence of anthropogenic pressure. We are talking about so-called ecological reserve, which is inherent in any healthy population and is determined by the possibility of compensation to mortality (natural or caused by human activities) by intensifying the reproduction.

At the time Mac Arthur and Wilson (Mac Arthur, Wilson, 1967) developed so-called *strategy of ecological concepts*; its essence means that successful survival and reproduction of the species is possible by: 1) enhancement the adaptability and competitiveness of organisms, or 2) intensifying the breeding ability which compensates the increased death of animals in critical situations allows restoring their numbers quickly. The first way is more commonly used by large forms with long lifespan; the second one is inherent for small animals with significant mortality and high fertility.

It is known that ungulates, which are characterized by large size, long life, late sexual maturation and low fertility, have so-called stable type of population dynamics (K-strategy), which, in turn, is characterized by small amplitude and long period (10–20 years) of number fluctuations.

In the studied case, periods of population fluctuations of the Crimean mountain populations of the red deer and roe deer, are respectively 7,5 and 4,6 years, which corresponds to the *labile type* of population dynamics (r-strategy), which is typical for

smaller animals with short life time and high fertility. As it is known the labile type mentioned above is characterized by large amplitude, when the number is changed dozens of times. But in our case the maximum range of changes in number of the red deer reaches 47,4 %, and in number of the roe deer – 33,9%.

Thus, “island” populations of the Crimean red deer and the European roe deer have the following peculiarities: the amplitude of oscillation of population number is characterized by their natural stable type of population dynamics; however, to a greater extent the periodicity matches the labile type. The reason for this paradox we see in the incomplete accordance of studied populations of ungulates to the k-strategy because in the "classical" case natural animal populations are not subject of significant influence from the human.

Keywords: population dynamics, european roe deer, red deer, mountain Crimea.

References

1. Macfaldyen A. *Animal ecology*, 375 (Moscow: Mir, 1965)
2. Odum U. *Fundamentals of Ecology*, 740 (Moscow: Mir, 1975).
3. Severtsov S. A. *Population dynamics and adaptive evolution of animals*, 316 (Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1941).
4. Polyakov I. Y. the Theoretical essence of the doctrine of periodicity of mass reproductions of voles and mice, *Journal of General Biol.*, **10**, **3**, 249 (1949).
5. Maksimov A. A. *long-term fluctuations of animal numbers, their causes and prognosis*, 249 (Novosibirsk, 1984).
6. Kryzhanovsky V. I., The red deer and the European roe deer in Ukraine, their ecology and perspective for economic use. Abstract Diss. Cand. Biol. Sciences: 03.00.08., 18 (Kiev: Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1965).
7. Dulitskiy A. I. *Biodiversity of Crimea. Mammals*, 208 (Simferopol: SONAT, 2001).
8. Volokh A. M. Large mammals of southern Ukraine in the twentieth century. (habitat dynamics, population, conservation, and management). Abstract Diss. Doctor of Sci. in Biol.: 03.00.08., 35 (Kiev: Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2004).
9. Dyozhkin V. V. Management of populations of wild ungulates // Results of science and technology. *Vertebrate Zoology*, **13**, 66 (Moscow: Publishing House of the VINITI. – 1985).
10. Polshchikov A. A., Lagoda Yu. F., Rudenko M. I. etc. Crimean natural reserve. 85 years, 95 (Simferopol: LLC Salta Firm of LTD, 2008).
11. Yarysh V. L. Typological characteristic of habitats of the existence of rational mountain-forest Crimea, - Mat. International Science-practice Conf. Assigned 150th anniversary of the origins of the NLTU Forestry Department (September 21-23, 2006, Lviv), 108 (Lviv: RVB NLTU. – 2006).
12. Yanushko P. A. *The way of life of the Crimean reindeer and their influence on natural renewal // Proceedings of the Crimean reserve-hunting economy*, **4**, 107 (Simferopol, 1957).
13. Naumov N. P. *Animal ecology*, 618 (Moscow: Vysshaya Shkola, 1963)
14. Shilov I. A. *Ecology*, 512 (Moscow: Vysshaya Shkola, 1998).
15. Wynne-Edwards V. C. Population control in animals, *Scient. Amer.*, **211**, **2**, 68 (1964)
16. MacArthur R. N., Wilson E. D. *The theory of Island biogeography*, 203 (Princeton Univ. Press, Princeton, N. Y.)
17. Folitarek S. S. Theoretical bases of biotechnics and survey of works of the Karasukskaya Biotechnical Station, Proceedings of the Biol. Institute of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the, **37**, 8 (USSR., 1980).

УДК 591.526:599.73 (470.323)

ФЕНОМЕН ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ КОПЫТНЫХ В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ В КРЫМУ. СООБЩЕНИЕ I. УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕТОВ ЧИСЛЕННОСТИ

Ярыш В. Л.¹, Иванов С. П.²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН», Феодосия, Республика Крым, Россия

*²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: galina.yarish65@gmail.com*

На территории Карадагского природного заповедника в течение последних 10–15 лет регистрируется исключительно высокая численность косули европейской (*Capreolus capreolus* L.) и кабана (*Sus scrofa ussuricus* Heude). Средняя за последние 10 лет наблюдений плотность косули в заповеднике составляет 205 голов на 1 тыс. га, что в 12 раз превышает норму, рассчитанную с учетом бонитета участков обитания этого вида в заповеднике. Средняя плотность кабана в заповеднике превышает оптимальную в 23 раза. Сверхвысокая численность копытных в Карадагском природном заповеднике, регистрируемая на протяжении длительного времени, является феноменальным явлением и требует самого пристального изучения. В связи с этим в данном сообщении представлены данные о природных условиях обитания копытных в Карадагском природном заповеднике, дана характеристика станций пребывания копытных в заповеднике, подробнейшим образом рассмотрены особенности проведения учетов численности, обработки и интерпретации полученных данных.

Ключевые слова: косуля, кабан, динамика численности, методика учетов численности, Карадагский природный заповедник, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Копытные животные являются одним из наиболее важных компонентов 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 [1–9]. 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. Особого внимания заслуживает пищевая активность копытных, которая сопровождается изреживанием растительности, изменением целого ряда фитоценологических показателей, уменьшением биомассы и изменением соотношения численности видов множества почвенных беспозвоночных [10–21].

Проблема избытка копытных в Карадагском природном заповеднике рассмотрена в ряде публикаций [22–24]. Сверхвысокую плотность копытных в этом

заповеднике, регистрируемую на протяжении длительного времени, можно считать феноменальным явлением, которая требует самого пристального изучения. В связи с этим возникает необходимость самым внимательным образом рассмотреть природные условия обитания копытных в Карадагском природном заповеднике, выявить специфику основных биотопов их пребывания в заповеднике, а также проанализировать методику проведения учетов численности, обработки и интерпретации полученных данных.

Цель данной работы – представить данные о природных условиях Карадагского заповедника, дать характеристику основных биотопов и станций пребывания копытных в заповеднике, изложить особенности проведения учетов численности, обработки и интерпретации полученных данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужили сведения о физико-географических условиях района, в состав которого входит территория Карадагского природного заповедника, данные о рельефе и характере распределения различных типов растительности на территории заповедника, а также описание методики учета численности копытных с использованием многолетнего опыта их проведения на территории заповедника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-географические условия территории обитания копытных в Карадагском природном заповеднике. Территория Карадагского природного заповедника расположена в юго-восточной части Крымского полуострова (рис. 1). В административном отношении она входит в состав Феодосийского района, Щebetовского поселкового совета. Географические координаты: 44° 55' широты (С), 35° 14' долготы (В) [26].



Рис. 1. Физическая карта Крыма с указанием расположения Карадагского природного заповедника [27].

Центральная усадьба, административные, жилые и хозяйственные здания заповедника расположены на территории бывшей Карадагской научной биологической станции (в дальнейшем – Биостанция). Протяженность территории заповедника в меридиальном направлении 6 км, в широтном – 7 км. Удаленность от Биостанции до пристани пгт Курортного – 1,5 км, от Биостанции до поселкового совета в пгт Щебетовке – 6 км, до железнодорожной станции в г. Феодосии – 35 км. Общая площадь заповедника составляет 2874,2 га, в том числе суши – 2065,1 га и 809,0 га – акватории Черного моря.

Территории заповедника свойственен низкогорный структурно-денудационный рельеф, расчлененный долинами, балками, оврагами, лощинами, ложбинами и промоинами. Основу рельефа Карадага образуют продольные хребты Береговой, Беш-Таш, Сюрю-Кая и Балалы-Кая, Легенер, простирающиеся в том же направлении, что и Крымские горы, т. е. с юго-запада на северо-восток. Береговой хребет вытянут вдоль берега моря на 5 км и состоит из коротких хребтов Лобового, Карагача, Хоба-Тепе, Магнитного и Кок-Кая, разделенных уступами и седловинами. Наиболее высокий из них – хребет Хоба-Тепе (440 м). Поперечный профиль Берегового хребта резко асимметричный. Его приморский обрывистый склон расчленен ущельями Чертова камина, Кая-Кошла, Кум-Кале, Колодец, Коридор, Гяур-Бах и Змеиным.

Горную группу Карадаг радиально разрезают балки и долины временных водотоков: Карадагская, Туманова, Беш-Таш, Монастырчик, Кара-Бугас, Икылмакская, Золотая, Кордонная и Кокташская.

Рельеф заповедника расчленен густой гидрографической сетью, которая свидетельствует о дренированности его территории. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 2 до 80 м.

Гидрологические условия района влияют на гидротермический режим территории. На Карадаге отсутствуют реки. В весенний период в долинах образуются ручьи, которые быстро исчезают и большую часть года русла ручьев остаются сухими. Имеется три небольших пруда, питающихся за счет источников и атмосферных осадков. В отдельных местах имеют место выходы источников на поверхность 10 небольших источников. Наиболее известны из них источники Лягушка, Гяур-Чешме, в Золотой балке, у подножия горы Святой.

Питание почв влагой обеспечивается в основном за счет атмосферных осадков, дефицит которых на территории заповедника весьма ощутим. В связи с расчленением рельефа густой гидрографической сетью в местах, лишенных древесной и кустарниковой растительности, создаются условия для развития эрозионных процессов. После неоднократной вырубki лесов в прошлом поверхностный размыв охватил значительную часть территории заповедника. В основном это происходит в период весенне-осенних ливней или после быстрого таяния снега.

В связи с тем, что Карадаг удален от цепи высокогорий, климат его более умеренно-континентальный, чем в других районах Южного берега Крыма, защищенных с севера главной Крымской грядой. Основные климатообразующие факторы – расположение заповедника на широте 45°, на границе суши и моря, а

также горный рельеф. В комплексе влияния моря указанные факторы образуют сложную микроклиматическую дифференциацию, которая определяет разнообразие почвенно-растительных условий.

Особенности климата Карадага – отсутствие резких колебаний значений климатических факторов по месяцам. Имеет место два слабовыраженных максимума. Зимний (декабрь – февраль) и летний (июль – август). От климата степной равнинной части Крыма климат Карадага отличается более высокими зимними и среднегодовыми температурами, слабее выраженными суточными и годовыми амплитудами температуры. В районе Карадага имеет место проявление местных циркуляций: бризы, боры, фены, горно-долинные и склоновые ветра. По данным Карадагской научно-исследовательской обсерватории, в заповеднике преобладают ветра северных румбов (северно-западных и северно-восточных направлений). Начало среднесуточной температуры воздуха выше 5° приходится в среднем на 20 марта. Протяженность периода среднесуточной температуры выше 10° составляет 199 дней, протяженность непрерывного безморозного периода составляет в воздухе 234 дня, на поверхности почвы – 212 дней. В среднем первые заморозки наступают с 13 ноября, последние – 27 марта. Средняя продолжительность наличия снежного покрова составляет 21 день при его толщине от 5 до 32 см. Увлажнение территории недостаточное и отвечает условиям сухой степи. С 406 мм годовых осадков испаряется 353 мм, а 53 мм образуют стоки [28].

Флора Карадага относится к Средиземноморской области. Ее образуют виды как с огромным голарктичным, так и с локальным эндемичным для Крыма и Карадага ареалом. Характерная черта растительности – сравнительно большое количество формаций, которые образуют в местах контакта одна с другой переходные группировки. Карадаг флористично хорошо обособлен и богат эндемичными видами. Такое объединение флористических комплексов нигде больше в Крыму не встречается. Для Карадага характерно увеличение количества видов со степными ареалами и уменьшение количества средиземноморских видов.

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 (≈40 %) и степи (≈20 %).

На Карадаге условно выделены три ландшафтных пояса:

1. На высоте 200–300 м н. у. м. – пояс ландшафтных степей, кустарников и грабинниково-дубовых редколесий.
2. На высоте 200–400 м н. у. м. – пояс ландшафтов пушистодубовых редколесий и лесов.
3. На высоте от 300 м н. у. м. и выше – пояс ландшафтов сомкнутых пушистодубовых, скальnodубовых и грабовых лесов.

Распределение общей площади земельных участков заповедника по типам охотничьих угодий и возрастным группам представлено в таблице 1.

Преобладающим типом является лиственный и смешанный лес, который занимает около 80 % всей площади объекта.

Таблица 1

Распределение общей площади земельных участков заповедника по типам охотничьих угодий и возрастным группам

Тип, подтип, разновидность охотничьих угодий	Площадь, га
Хвойный лес на южных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	
- молодняки первого класса	0,2
- молодняки второго класса и средневозрастные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	33,6
- без подроста, подлеска и кустарников	21,0
Итого по подтипу:	54,6
- припевающие, спелые и перестойные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	9,9
- редколесье	4,8
Итого по типу:	69,5
Хвойный лес на северных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	
- молодняки первого класса	8,7
- молодняки второго класса и средневозрастные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	8,7
- без подроста подлеска и кустарников	6,7
Итого по подтипу:	15,4
-редколесье	3,5
Итого по типу:	27,6
Лиственный и смешанный лес на южных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	
- молодняки первого класса	201,5
- молодняки второго класса и средневозрастные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	22,7
- без подроста, подлеска и кустарников	13,6
Итого по подтипу:	36,3
- припевающие, спелые и перестойные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	362,9
- без подроста, подлеска и кустарников	68,8
Итого по подтипу:	431,7
- редколесье	79,0
Итого по типу:	748,5

Продолжение таблицы 1

Лиственный и смешанный лес на северных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	
- молодняки первого класса	133,2
- молодняки второго класса и средневозрастные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	23,8
- без подроста, подлеска и кустарников	4,6
Итого по подтипу:	28,4
- припевающие, спелые и перестойные насаждения при наличии подроста, подлеска и кустарников	478,8
- без подроста, подлеска и кустарников	45,9
Итого по подтипу:	524,7
- редколесье	36,7
Итого по типу:	723,0
Кустарники	29,0
Пахотные земли	
- сады, виноградники, др.	1,3
- другие категории	127,5
- земли, которые не подлежат бонитировке и акватория моря	1150,5
Всего по пользователю, по природной зоне и по объекту	2876,9
в том числе по типам охотничьих угодий:	
- хвойный лес на южных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	69,5
- хвойный лес на северных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	27,6
- лиственный и смешанный лес на южных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	748,5
- лиственный и смешанный лес на северных склонах и высоте до 500 м над уровнем моря	723,0
- кустарники	29,0
- пахотные земли	1,3
- другие категории	127,5
- земли, которые не подлежат бонитировке	1150,5

Копытные (кабан, косуля) обладают значительной экологической валентностью. Они способны существовать в разнообразных биотопах. Вместе с тем существует потребность в специфичных кормах, в защитных условиях и в большей мере привязанность к древесной растительности.

Для косули и кабана естественным является существование в горных и равнинных лесах. Вместе с тем они приспособлены и для существования в сельскохозяйственных угодьях. Однако в силу антропогенных факторов существование копытных приурочены к тем биотопам, которые имеют хорошие защитные свойства. Такими способностями характеризуются горные леса Крыма и Карадага.

Классификация охотничьих угодий заповедника по классу бонитета и распределение площади суходольной части заповедника по классам бонитета кормовых и защитных угодий представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Классификация охотничьих угодий по классу бонитета

№ п/п	Тип охотничьих угодий	Подтип, вид охотничьих угодий	Косуля	Кабан	
1	Хвойный лес до 500 м над уровнем моря (южный склон)	1.1. Молодняки 1-й группы возраста	1	3	
		1.2. Молодняки 2-й группы возраста и средневозрастные насаждения			
		1.2.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	1	3	
		1.2.2. Без подроста, подлеска и кустарников	2	4	
		1.3. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения			
		1.3.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	2	4	
		1.3.2. Без подроста, подлеска и кустарников	3	5	
		1.4. Редколесье	2	4	
2	Хвойный лес до 500 м над уровнем моря (северный склон)	2.1. Молодняки 1-й группы возраста	1	3	
		2.2. Молодняки 2-й группы возраста и средневозрастные насаждения			
		2.2.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	2	4	
		2.2.2. Без подроста, подлеска и кустарников	4	4	
		2.3. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения			
		2.3.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	3	5	
		2.3.2. Без подроста, подлеска и кустарников	4	5	
		2.4. Редколесье	3	5	
3	Лиственный и смешанный лес до 500 м над уровнем моря (южный склон)	3.1. Молодняки 1-й группы возраста	1	2	
		3.2. Молодняки 2-й группы возраста и средневозрастные насаждения			
		3.2.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	1	2	

Продолжение таблицы 2

		3.2.2. Без подроста, подлеска и кустарников	2	2
		3.3. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения		
		3.3.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	1	2
		3.3.2. Без подроста, подлеска и кустарников	2	2
		3.4. Редколесье	1	2
	Лиственный и смешанный лес до 500 м над уровнем моря (северный склон)	4.1. Молодняки 1-й группы возраста	1	3
		4.2. Молодняки 2-й группы возраста и средневозрастные насаждения		
		4.2.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	2	3
		4.2.2. Без подроста, подлеска и кустарников	2	3
		4.3. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения		
		4.3.1. При наличии подроста, подлеска и кустарников	3	4
		4.3.2. Без подроста, подлеска и кустарников	4	4
		4.4. Редколесье	2	4
5	Кустарники		2	3
6	Пахотные земли	6.1. Пашни, сады, виноградники, др.	3	3

Таблица 3

Распределение площади суходольной части заповедника по классам бонитета кормовых и защитных угодий

Виды диких животных	Площадь угодий, подлежащих бонитировке, га	Распределение угодий по классам бонитета				
		1	2	3	4	5
Косуля	1715,5	841,8	220,9	483,6	52,6	116,6
Кабан	1715,5		748,5	234,4	612,5	120,1

Таким образом, в Карадагском природном заповеднике средний класс бонитета для косули составляет 2,08, для кабана – 3,07.

Учетные площадки, принципы выбора их местоположения, площади и конфигурации. Общая площадь угодий, пригодных для проживания косули и кабана в Карадагском природном заповеднике и подлежащих бонитировке, составила 1715 га (17,15 кв. км). В связи с этим учетные площадки выбраны в угодьях в пределах среднего класса бонитета учитываемых животных. Экстраполяция полученных данных на учетных площадках проводилась на площади, подлежащей бонитировке, – 17,15 кв. м. 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. Форма учетных площадок определена границами квартальной сети, которые проходят по естественным природным границам (водоразделы, хребты, дороги).

Таким образом, нами для учета животных было выбрано три участка (рис. 2). Координаты угловых точек участка определены с помощью спутникового навигатора GarminASTRO 320.



Рис. 2. Карта-схема Карадагского заповедника и расположение участков многолетнего учета численности копытных.

Участок № 1 расположен в квартале 26. Угодья представлены широколиственным спелым лесом с преобладанием дуба пушистого. Частично встречаются культуры сосны крымской. Подлесок незначительный с наличием биополян. Видимость – от 100–300 метров в безлиственном лесу. Площадь участка – 38,18 га.

Участок № 2 расположен в кварталах 27, 30, и 31. Угодья представлены широколиственным спелым лесом с преобладанием дуба пушистого. Подлесок

незначительный с наличием биополян. Видимость – от 100–300 метров в безлиственном лесу. Площадь участка – 121,43 га.

Участок № 3 расположен в квартале 15. Угодья представлены широколиственным спелым лесом с преобладанием дуба пушистого. Частично встречаются культуры сосны крымской. Подлесок незначительный с наличием биополян. Видимость – от 50–150 метров в безлиственном лесу. Площадь участка – 38,18 га.

Общая площадь учетных площадей составляет 198 га, или 12 % от общей площади обитания копытных в заповеднике.

Учеты в Карадагском заповеднике с 2015 года проводятся методом шумового прогона согласно [29]. На каждой выбранной площадке с помощью спутникового навигатора были обозначены координаты угловых точек периметра и определена их площадь. Произведено описание угодий данных площадок согласно таксационному описанию кварталов, в которых проводился учет.

Для проведения учета методом шумового прогона собирается группа участников учета в количестве не менее 30 человек, которая разделяется на группы загонщиков и учетчиков (рис. 3). Каждому участнику учета выдаются карточки первичного учета, в которую вносятся следующие данные: номер учетной площади, виды учитываемых животных, общее количество учтенных животных, пол и возраст учтенных животных. В конце ставится дата и фамилия учетчика. Перед началом учета со всеми участниками учета проводится детальный инструктаж.

Во время учета загонщики располагаются на видимом расстоянии друг от друга, по дорогам или на хорошо просматриваемых водоразделах. Очередность участков и направление прогонов выбирались с исключением повторного учета одних и тех же животных.

Материалы учета отображаются 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 [29].

Показатель средней плотности населения (P) в каждой зоне экстраполяции по каждому учитываемому виду рассчитывается по формуле

$$P = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}{(q_1 + q_2 + q_3 + \dots)},$$

где n_1, n_2, n_3, \dots – число зверей данного вида на каждой площадке (особей), q_1, q_2, q_3, \dots – площади учетных площадок (кв. км).

Показатель численности (N) каждого вида охотничьих зверей в каждой зоне экстраполяции рассчитывается по следующей формуле

$$N = PS,$$

где P – средняя плотность населения данного вида (особей/кв. км) в конкретной зоне интерполяции или категории; S – площадь зоны интерполяции (кв. км).



Рис. 3. Группа участников учета численности копытных в Карадагском природном заповеднике, январь 2010 г. (фото Знаменской Л. В.).

После расчета численности различных видов охотничьих зверей в каждой зоне полученные показатели численности суммируются по всем зонам и по всем видам зверей; на этой основе определяется общая численность каждого учтенного вида зверей по хозяйству.

Статистическая ошибка (m) учета для каждого учитываемого вида зверей рассчитывается по формуле

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{где} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где σ – дисперсия – среднее арифметическое из квадратов отклонений величин x_i от их среднеарифметического, n – количество учетных площадок, x_i – численность животных на каждой площадке, \bar{x} – средняя численность животных по всем площадкам.

Полученные данные заносятся в ведомость расчета плотности и численности охотничьих зверей [29].

В 2016 году учет косули европейской на территории заповедника проводился двумя методами. Первый учет проводился методом шумового прогона, используемым традиционно в заповеднике с 1986 года, второй – маршрутным методом (рис. 4).

Кроме того, в 2016 году был проведен учет кабана методом опроса сотрудников службы Госохраны заповедника (рис. 4). Дата учета назначалась на следующий день

после выпадения обильных осадков. Учет проводился сотрудниками службы Госохраны заповедника по обходам.



Рис. 4. Карта-схема Карадагского заповедника с отображением учетов кабана методом опроса и маршрутного учета численности косули европейской в 2016 году.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сверхвысокая численность копытных в Карадагском природном заповеднике, регистрируемая на протяжении длительного времени, является феноменальным явлением и требует самого пристального изучения. В связи с этим особое внимание следует уделить условиям обитания копытных в заповеднике и методике проведения учетов численности.
2. 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 ($\approx 20\%$). Характерны разнообразие и мозаичность биотопов.
3. Общая площадь угодий, пригодная для проживания косули и кабана, в Карадагском природном заповеднике и подлежащих бонитировке составила 1715 га (17,15 кв. км). 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.

4. Общая площадь учетных площадок – 198 га, что 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.

Список литературы

1. Динесман Л. Г. Влияние диких млекопитающих на формирование древостоев. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 165 с.
2. Ходашева К. С., Елисева В. И. Участие позвоночных животных – потребителей веточных кормов в круговороте веществ в лесостепных дубравах // Структура и функционально-биогеоэкологическая роль животного населения суши. – М., 1967. – С. 81–84.
3. Абатуров Б. Д. Млекопитающие в биогеоценозе // Природа. – 1973. – № 10. – С. 59–69.
4. Абатуров Б. Д. Реакция растительности на стравливание копытными // Копытные фауны СССР (экология, морфология, использование, охрана). – М.: Наука, 1975. – С. 156–157.
5. Абатуров В. Д. Биопродукционный процесс в наземных экосистемах. – М.: Наука, 1979. – 128 с.
6. Абатуров В. Г. О функциональной роли диких позвоночных в биогеоценозах природных территорий // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М.: Наука, 1980. – С. 250–269.
7. Злотин Р. И., Ходашева К. С. Роль животных в биологическом круговороте лесных экосистем. – М.: Наука, 1974. – 200 с.
8. Красницкий А. М. Проблемы заповедного дела. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 192 с.
9. Круть М. В., Забелин М. М. Очерки представлений о истории взаимодействия природы и общества. – М.: Наука, 1988. – 406 с.
10. Козло П. Г. Дикий кабан. – Минск: Урожай, 1975. – 223 с.
11. Козло П. Г., Ставровская Л. А. Влияние роющей деятельности кабана (*Sus scrofa* L.) на травянистую растительность // Беловежская пушча: исследования. – Минск: Урожай, 1979. – Вып. 3. – С. 91–99.
12. Мишнев В. Г. Воспроизводство буковых лесов Крыма. – Киев – Одесса: Вища школа, 1986. – 130 с.
13. Мишнев В. Г. Заповедники и принцип жесткой резервации территорий // Ботан. журн. – 1984. – 69, № 8. – С. 1106–1113.
14. Мишнев В. Г. Заповедные буковые леса Крыма, их состояние и перспективы // Лесоведение. – 1971. – № 1. – С. 24–31.
15. Мишнев В. Г. Заповедники – резерваты биоразнообразия // Заповедники Крыма. Биоразнообразие на приоритетных территориях: 5 лет после Гурзуфа: Материалы II научной конференции (Симферополь, 25–26 апреля 2002 г.). – Симферополь, 2002. – С. 166–169.
16. Прохорова Л. Г. Влияние выпаса скота на почвенных беспозвоночных разнотравно-злакового березняка // Сборник научных трудов Центральной лаборатории охраны природы Министерства сельского хозяйства СССР. – М., 1973. – Вып. 2. – С. 70–75.
17. Толкач В. Н., Дворак Л. Е. Изменение надземной фитомассы живого напочвенного покрова под влиянием диких копытных // Заповедники Белоруссии: исследования. – Минск, 1980. – Вып. 41. – С. 29–38.

18. Шаповалова С. И., Порядина Н. М., Соколова А. В. Влияние роющей деятельности кабана (*Sus scrofa*) на почвенную мезофауну // Селекционно-генетические и экологические проблемы эукариот. – Тюмень, 1995. – С. 28–33.
19. Козулько Г. А. Влияние диких копытных на почвенных беспозвоночных в дубравах Беловежской пушчи // Вестн. зоол. – 34, № 14. – 2000. – С. 136–143.
20. Миронова Л. П., Курочкина О. Г. Влияние жизнедеятельности *Sus scrofa* L. на почвенно-растительный покров Карадагского природного заповедника // Структура и функциональная роль животного населения в природных и трансформированных экосистемах: Тезисы I международной научной конференции (Днепропетровск, 17–20 сентября 2001 г.). – Днепропетровск: ДНУ, 2001. – С. 174–176.
21. Антоненц Н. В., Ярыш В. Л. Дендроактивность косули европейской (*Capreolus capreolus* L.) // Тобольск научный – 2012: IX Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием). – Тобольск: Тюменский издательский дом, 2012. – С. 78–82.
22. Иванов С. П., Паршинцев А. В., Евстафьев А. И., Товпинец Н. Н., Ярыш В. Л. Проблема избытка диких копытных на заповедных территориях // А. Л. Морозова, В. Ф. Гнубкин (ред.). – Карадаг. История, геология, ботаника, зоология: Сборник научных трудов, посвященный 90-летию Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского и 25-летию Карадагского природного заповедника. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – Кн. 1. – С. 445–463.
23. Ярыш В. Л., Антоненц Н. В., Балалаев А. К., Иванов С. П. Динамика численности косули европейской, зайца-русака и хищничество горно-крымской лисицы в Карадагском природном заповеднике // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2014. – Вып. 11. – С. 144–157.
24. Ярыш В. Л., Иванов С. П. Динамика численности копытных в Карадагском природном заповеднике / 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.
25. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1968. – 186 с.
26. Проект організації території та охорони природних комплексів Карадазького природного заповідника НАН України. – Ірпінь, 2005. – 210 с.
27. Крым – медиа портал. Карты Крыма. / <http://crimea-media.ru/Map.html>
28. Карадаг заповедный: научно-популярные очерки / Под ред. А. Л. Морозовой. – Симферополь: Н. Орианда, 2011 – 288 с.
29. Методические указания по учету охотничьих животных на площадках методом прогона (утв. Научно-техническим советом Минсельхоза России от 18 сентября 2008г., протокол № 53). – М., 2009.

THE PHENOMENON OF HIGH DENSITY OF UNGULATES AT THE KARADAG NATURE RESERVE IN CRIMEA. REPORT I. PECULIARITIES OF POPULATION ESTIMATIONS AND DATA INTERPRETATION

Yarysh V. I.¹, Ivanov S. P.²

¹*Federal State Budget Institution of Science «T.I. Vyasemsky Karadag Scientific Station – Nature reserve of the RAS», Feodosia, Russian Federation*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*
E-mail: galina.yarish65@gmail.com

The high number of European Roe Deer (*Capreolus capreolus* L.) and wild boar (*Sus scrofa* Heude) at the Karadag Nature Reserve recorded over the past 15 years. From the founding of the reserve in 1984 since 2005 the number of roe deer has increased exponentially ranging from 20-50 individuals up to 300 or more. During following years the number of roe deer stabilized at 340 individuals, varying from 264 to 438 individuals.

During the last 10 years of observation the average density of roe deer in the nature reserve is 205 individuals per 1 thousand ha, which is 12 times higher than normal, based on a bonitet of plots of occurrence of this species in the reserve. The average number of wild boar in the reserve both during the initial period of its existence (from 1984 to 2005), and following years remained unchanged. With an average value of about 46 individuals strong fluctuations of the numbers from 5 to 100 individuals for individual years of observations is recognized. The average density of wild boar in the reserve exceeds the optimal 23 times. Ultra-high number of ungulates in the Karadag nature reserve registered during long time is a wonderful phenomenon and requires the most careful study. In this regard, the report provides information about the natural habitat of ungulates in the Karadag nature reserve, the characteristic habitats of stay of the ungulates in the reserve, exhaustively reviewed the specifics of the census of the population, processing and interpretation of the data.

At the modern stage Karadag vegetation is represented mainly by forests, sibljaks (shrub-like plants of ahead oak, Oriental hornbeam, and shrubs), prairie (steppe) areas, tomillares (sparse vegetation, with shrubs, subshrubs, and shrubs in the form of stunted vegetation), savannoides. In fact, two zonal vegetation such as Submedi terranean forests ($\approx 40\%$) and steppes (grasslands) ($\approx 20\%$) dominated at the reserve. Variety and mosaic of biotopes are typical here.

The total area of land suitable for living of roe deer and wild boar at the Karadag Nature Reserve that is the subject for bonitet is 1715 hectares (17.15 sq. km). Account sites is selected based on middle-class bonitet of the mentioned animals. Extrapolation of the data obtained on estimation plots were carried out on the area that is subject for bonitet – of 17.15 sq. km. Territorial account platforms are located so that there is no possibility for animals to move from one site to another during the inventory that avoid double counting of animals. Form of account sites identified by the borders of the quarterly network, which are natural boundaries (watersheds, mountain ranges, roads). Total area of account sites is 198 hectares, which represents 12 % of the total area of habitat of ungulates in the reserve. Accountings at the Karadag Reserve since 2015 are conducted by the noise and drive. At each selected site using a satellite Navigator, the designated coordinates of the corner points of the perimeter; area of sites were also defined. The description of these sites according to the valuation of the quarters where accounts took place had been provided. To account by the method of noise and drive a team of at least 30 participants is divided into groups of beaters and fieldworkers. Each participant of the account obtained the card for primary account, which contains the following data: the number of the area, animal species, the total number of recorded animals, sex and age of recorded animals. Also the date and the name of account participant is written down. In advance all participants received detailed instructions. Data obtained during accounts are written down to the record paper of account of animals at each site as well as to the consolidated statement of monitoring at sites. On the basis of data of the consolidated statement the density and number of each animal species as well as statistical inaccuracy of counting are calculated.

Keywords: roe deer, wild boar, abundance, density, dynamics of number, methodic of number accounts, Karadag Nature Reserve, Crimea.

References

1. Dinesman L. G., *The influence of wild mammals on the forming of tree stands*, 165 p. (Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1961).
2. Khodasheva K. S. and 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).
3. Abaturov B. D., Mammals in the biogeocenosis, *Nature*, **10**, 59 (1973).
4. Abaturov B. D., Reaction of vegetation on grazing by ungulates, *Ungulates of the fauna of the USSR (ecology, morphology, use, protection)*, 156 (Nauka, Moscow, 1973).
5. Abaturov V. D. *Bioproduction process in terrestrial ecosystems*, 128 p. (Nauka, Moscow, 1979).
6. Abaturov V. G. On the functional role of wild vertebrates in biogeocenoses of natural territories, *Structural and functional organization of biogeocenoses*, 250 (1980).
7. Zlotin R. I., Khodasheva K. S., *The role of animals in the biological cycle of forest ecosystems* 200 p. (Nauka, Moscow, 1974).
8. Krasnitskiy A. M., *Problems of the reserve management*, 192 p. (Lesnaya promyshlennost, Moscow, 1983).
9. Krut` M. V., Zabelin M. M., *Essays on vision on the history of interaction of nature and society*, 406 p. (Nauka, Moscow, 1988).
10. Kozlo P. G., *A wild boar*, 223 p. (Urozhay, Minsk, 1975).
11. Kozlo P. G., Stavrovskaya L. A., Influence of burrowing activity of wild boar (*Sus scrofa* L.) on grass vegetation, *Belovezhskaya Pushcha: research*, **3**, 91 (1979).
12. Mishnev V. G., Reproduction of beech forests of Crimea, 130 p. (Vyshcha shkola, Kiev – Odessa, 1986).
13. Mishnev V. G., Reserve beech forests of Crimea, their condition and prospects, *Lesovedenie*, **1**, 24 1971.
14. 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).
15. Mishnev V. G. Reserves and principle of hard reservation of territories, *Botan. Journal*, **69**, **8**, 1106 (1984).
16. Prokhorova L. G., Influence of grazing on the soil invertebrates of a grass-cerial birch tree forest, *Proceedings of the Central Laboratory for Nature Conservation of the Ministry of Agriculture of the USSR*, **2**, 70 (1973).
17. Tolkach V. N., Dvorak L. E., A change in the above-ground phytomass of a live ground cover under the influence of wild ungulates, *The Reserves of Belarus: Studies*, **41**, 29 (1980).
18. Shapovalova S. I., Poryadina N. M., Sokolova A. V., Influence of burrowing activity of wild boar (*Sus scrofa*) on soil mesofauna, *Selection-genetic and ecological problems of eukaryotes*, 28 (1995).
19. Kozul`ko G. A., Influence of wild ungulates on soil invertebrates in the oak forests of the Belovezhskaya Pushcha, *Vestn. Zool*, **34**, **14**, 136 (2000).
20. Mironova L. P., Kurochkina O. G., Influence of vital activity of *Sus scrofa* L. on the soil and vegetation cover of the Karadag Nature Reserve, *Structure and functional role of the animal population in natural and transformed ecosystems: Abstracts of the I International Scientific Conference (Dnepropetrovsk, September 17-20, 2001)*, 174 (2001).
21. Antonets N. V., Yarysh V. L., Dendroactivity of the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.), *Tobolsk Scientific - 2012: IX All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)*, 78 (2012).
22. 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).
23. 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).
24. 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).

25. Lakin G. F., Biometrics, 186 p. (Visshaya Shkola, Moscow, 1968).
26. 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 p. (Irpen, 2005).
27. Crimea – media portal. Maps of Crimea, <http://crimea-media.ru/Map.html>
28. Karadag reserved: popular science essays, 288 p. (N. Orianda, Simferopol, 2011).
29. *Methodical instructions for the registration of hunting animals at the sites by the method of expelling (approved by the Scientific and Technical Council of the Ministry of Agriculture of Russia on September 18, 2008, Protocol No. 53)*, (Moscow, 2009).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 3. С. 249–256.

УДК 663.22/253.2:547.477.1:543.544

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВИН ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ

Аристова Н. И.¹, Зайцев Г. П.¹, Панов Д. А.²

¹ФГБУН «ВНИИВиВ «Магарач» РАН», г. Ялта, Республика Крым, Россия

²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

E-mail: akademik_n@mail.ru

Определена массовая концентрация основных органических кислот в тихих и игристых винах различных производителей методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Рассчитано соотношение винной и яблочной кислот в различных типах вин. Установлено, что массовая концентрация лимонной кислоты в готовой винодельческой продукции после проведения различных технологических приемов не превышает допустимые нормы и соответствует действующей нормативной документации.

Ключевые слова: массовая концентрация, органические кислоты, титруемая кислотность, лимонная кислота, высокоэффективная жидкостная хроматография, регулирование кислотности.

ВВЕДЕНИЕ

Органические кислоты винограда играют большую роль в формировании вкуса и качества вина. Их общее содержание определяют пригодность винограда для получения того или иного типа вина. Недостаточная кислотность делает вкус вина простым и плоским, высокая же приводит к резкому кислому вкусу. Органические кислоты участвуют в создании букета готового вина, придают ему приятную свежесть, защищают вино от бактериальных заболеваний и продлевают срок его хранения. Введение этих кислот в организм человека стимулирует работу поджелудочной железы, способствует лучшему усвоению пищи.

В виноматериалах и винах содержится шесть основных органических кислот: винная, яблочная, молочная, лимонная, уксусная и янтарная. Винная и яблочная кислоты являются основными представителями алифатических кислот виноградных вин, их общая доля составляет 90 % всех кислот в вине. Гармоничное сочетание полноты вкуса и ощущение кислотности обуславливается соотношением между этими кислотами. Если это соотношение (винной кислоты к яблочной) 2:1, то вино будет чрезвычайно кислым. Если повысить долю винной до 3 и выше, то продукт получится высокого качества с гармоничным ароматом и вкусом. Винная кислота,

обладая кислым вкусом, не приводит к появлению посторонних тонов. При высоком же содержании яблочной кислоты вино приобретает тон «зеленой» кислотности. Такие вина требуют дополнительной технологической обработки [1, 2]. В Российской Федерации, согласно правилам производства винодельческой продукции, для повышения кислотности и исправления низкокислотных виноделических материалов разрешается добавлять лимонную или винную кислоты не более 2 г/дм³. В России чаще всего практикуется подкисление вина и реже – подкисление сула [3, 4].

При внесении лимонной кислоты в вино главной целью является не только подкисление, но и образование растворимых комплексов с железом для предотвращения железного касса [1, 3–6]. Кишковский и Мержаниан считают, что устойчивость перекисленных вин к помутнению повышается после подкисления их лимонной кислотой, так как увеличивается агрегативная устойчивость танатов [7]. По концентрации отдельных органических кислот и соотношению между ними можно объективно судить о подлинности виноградных вин.

Для определения органических кислот в винах используют целый ряд физико-химических методов: потенциометрия, хроматография, спектрофотометрия, капиллярный электрофорез и др. В большинстве методов при определении кислот устраняют мешающие компоненты вина или выделяют их с помощью ионного обмена [8, 9–11]. Наиболее эффективным методом при определении слабых кислот в вине является высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). Использование этого метода обеспечивает возможность разделения большого количества органических кислот без применения сложной и длительной пробоподготовки. ВЭЖХ позволяет значительно сократить затраты и время проведения анализа [12].

Важно отметить, что в готовой винной продукции регламентируется только лимонная кислота и титруемые кислоты (сумма органических кислот и их кислых солей), поэтому определение лимонной кислоты и основных органических кислот в вине современными методами анализа после проведения технологических приемов, таких как регулирование кислотности, деметаллизация с помощью пищевой лимонной кислоты, является актуальным.

Целью данной работы явилось определение массовой концентрации основных органических кислот в тихих и игристых винах методом ВЭЖХ с использованием хроматографической системы Agilent Technologies (модель 1100) после проведения технологического приема регулирования кислотности с помощью пищевой лимонной кислоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов использовали различные типы вин: тихие и игристые, произведенные предприятиями Республики Крым. С целью определения массовых концентраций основных органических кислот были использованы 18 образцов тихих вин и 5 образцов игристых. Отбор проб вин осуществляли по ГОСТ 31730-2012 [13], подготовку проб – по ГОСТ 26671-2014 [14]. Образцы исследуемых игристых вин подвергали процедуре предварительной дегазации на ультразвуковой бане BADELIN SONOREX (Германия). Качественный и количественный состав органических кислот определяли методом высокоэффективной жидкостной с использованием

хроматографической системы Agilent Technologies (модель 1100) с диодно-матричным, рефрактометрическим детекторами аналогично методике [15]. Для разделения органических кислот использовалась карбогидратная хроматографическая колонка «Supelcogel-C610H» размером 7,8×300 мм, заполненная катионообменным полимерным сорбентом зернением 9,0 мкм. Скорость потока элюента – 0,5 см³/мин. и объем пробы 5 мкл. Температура термостата колонки 300 °С, подвижная фаза – 0,1 % раствор ортофосфорной кислоты [10, 11]. Для градуировки прибора использовали стандартные образцы органических кислот квалификации не ниже ч. д. а. Навески образцов растворяли в бидистиллированной воде.

Хроматограммы регистрировали при длине волны 210 нм для органических кислот. Идентификацию компонентов производили по их временам удерживания. Хроматографирование проводили в градиентном режиме. Все определения проводили в трех повторностях. Результаты исследований обрабатывали стандартными методами математической статистики. Относительная погрешность метода составила 2,8–3,0 % при доверительной вероятности Р=0,95.

В ходе проведения технологического приема регулирования кислотности использовали пищевую лимонную кислоту по ГОСТ 31726-2012 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение массовой концентрации основных органических кислот в различных типах вин методом ВЭЖХ проводили в диапазонах от 0,15 до 5 г/дм³. В таблицах 1 и 2 приведены данные по определению содержания основных органических кислот в тихих и игристых винах после проведения технологических приемов.

Так как в готовой винодельческой продукции регламентируется содержание лимонной кислоты (не более 1 г/дм³), то необходимо уделить внимание ее содержанию в исследуемых винах.

Таблица 1

Содержание органических кислот в исследованных тихих винах различных производств

Наименование вина	Массовая концентрация, мг/дм ³					Отношение гр. 3–4	Сумма кислот, мг/дм ³
	Лимонная	Винная	Яблочная	Молочная + Янтарная	Уксусная		
1	2	3	4	5	6	7	8
Инкерман Мерло столовое сухое красное (образец № 1)	402	2663	554	2477	194	4,8	6290
Инкерман Алиготе столовое сухое белое	245	3667	745	2760	345	4,9	7762

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Инкерман Совиньон столовое сухое(образец № 1)	86	2381	456	1979	319	5,2	5221
Инкерман Жемчужина столовое сухое	218	2582	722	2290	298	3,6	6110
Инкерман Вайт полусухое белое	663	2335	1029	1885	218	2,3	6130
Инкерман Шардоне столовое сухое белое	182	3282	783	1509	268	4,2	6024
Инкерман Легенда полусладкое белое	951	2175	808	2482	389	2,7	6805
Инкерман Крымская Ривьера полусладкое белое	982	2391	1673	1741	162	1,4	6949
Инкерман Ркацители сухое столовое	327	3258	1397	738	122	2,3	5842
Инкерман Совиньон+ Рацители столовое сухое	378	2840	1536	850	118	1,8	5722
Инкерман Каберне столовое сухое (образец № 1)	35	3174	415	2853	181	7,6	6658
Инкерман Каберне столовое сухое (образец № 2)	0	2100	417	5272	360	5,0	8149
Инкерман Совиньон столовое сухое(образец № 2)	415	3584	1371	1557	283	2,6	7210
Инкерман Бастардо столовое сухое красное	29	2700	1089	3188	637	2,5	7643
Евпатория Портвейн 777 белый	614	1140	677	822	175	1,7	3428
Белозерский Херес крепкий	388	1571	2048	2478	333	0,8	6818
Евпатория Портвейн Приморский	380	3790	2730	2840	320	1,4	10060
Гурзуф Кагор ликерное красное	900	1954	1697	590	0	1,2	5141

Таблица 2

Определение массовой концентрации органических кислот в игристых винах

Наименование вина	Массовая концентрация, мг/дм ³					Отношение гр. 3-4	Сумма кислот, мг/дм ³
	Лимонная	Винная	Яблочная	Молочная + Янтарная	Уксусная		
1	2	3	4	5	6	7	8
Новый Свет Пино нуар брют	265	3652	1291	2324	359	2,8	7891
Новый свет брют	269	3582	963	2815	346	3,7	7975
Новый свет экстра брют	300	3301	1088	3022	279	3,0	7990
Новый свет Крымское игристое брют	474	3222	1475	6189	198	2,2	11558
Новосветское полусухое	533	2901	1585	2140	523	1,8	7682

Исходя из табличных данных (Табл. 1), в тихих белых столовых винах значение массовой концентрации лимонной кислоты варьировало от 86 до 982 мг/дм³, в тихих красных столовых – от 0 до 402 мг/дм³, в крепких специальных винах (портвейн, херес) – от 380 до 614 мг/дм³, в ликерных – 900 мг/дм³, а в игристых – от 265 до 533 мг/дм³. Следовательно, значение массовой концентрации лимонной кислоты исследованных образцах тихих и игристых вин находится в пределах допустимой нормы.

На основании проведенных исследований установлены количественные отношения винной кислоты к яблочной. В тихих винах (Табл. 1) это отношение изменяется от 0,8 до 7,7, в игристых винах (Табл. 2, «брют») – от 2,2 до 3,7, а в «Новосветском полусухом» – 1,8.

Одним из основных анализов теххимического контроля состава вин является титруемая кислотность. Из литературных данных известно, что для различных типов вин титруемая кислотность колеблется в определенных пределах: для тихих вин – от 3 до 8 г/дм³, игристых – от 6 до 8,5 г/дм³ [1, 2]. В исследованных образцах тихих вин сумма кислот изменяется в пределах от 3,4 до 8,1 г/дм³, исключение составляет «Портвейн Приморский» (Евпатория) масса кислот – 10,6 г/дм³. Для игристых вин масса кислот около 8 г/дм³, кроме «Крымского игристого» для которого сумма кислот – 11,6 г/дм³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что содержание лимонной кислоты и титруемая кислотность в различных типах вин, произведенных предприятиями Республики Крым, соответствует действующей нормативной документации: ГОСТ 32030-2013 [17], ГОСТ 52404-2005 [18], ГОСТ 32715-2014 [19], ГОСТ 33336-2015[20].

Список литературы

1. Справочник по виноделию. Изд. 3-е, перераб. и доп./ Под ред. Г. Г. Валушко, В. Т. Косюры. – Симферополь: Таврида, 2005. – 588 с.
2. Кишковский З. Н. Химия вина / З. Н. Кишковский, И. М. Скурихин. – М.: АгроПромиздат, 1988. – 254 с.
3. Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. Разработано Всероссийским научно-исследовательским институтом пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Россельскохозяйственной академии, утв. 05.05.98. – М.: Пищепромиздат, 1998. – 242 с.
4. Использование лимонной кислоты для предупреждения железного касса / В. И. Зинченко, В. Т. Косюра, С. Т. Огородник [и др.] // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1986. – № 3. – С. 35.
5. Смирнов В. А. Пищевые кислоты / В. А. Смирнов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 264 с.
6. Жилиякова Т. А. Современные методы контроля показателей качества и безопасности виноградных вин / Жилиякова Т. А., Аристова Н. И., Панова Э. П. [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Т. 19 (58). – 2006. – № 2. – С. 84–93.
7. Кишковский З. Н. Технология вина / З. Н. Кишковский, А. А. Мерджаниан. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 504 с.
8. Захарова Э. А. Определение общей кислотности и содержания лимонной кислоты в винах потенциометрическим методом / Э. А. Захарова, М. Л. Москалева, Ю. А. Акенеев [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 9. – С. 964–969.
9. Zoecklein, B. Wine analysis and production / B. Zoecklein, K.C.Fugelsang, B. Gump, F.S. Nury. – N.Y.; Springer US, 1999. – 621 p.
10. Аристова Н. И. Методики выполнения измерений физико-химических показателей для контроля качества винопродукции / Н. И. Аристова // «Магарач»: Виноградарство и виноделие. – 2014. – № 4. – С. 36–39. (Aristova N. I. Techniques for the measurement of physical and chemical parameters for the quality control of wine products, "Magarach": viticulture and winemaking, 4, 36 (2014). (in Russ.))
11. Жилиякова Т. А. Определение дополнительных показателей качества и безопасности винодельческой и безалкогольной продукции / Т. А. Жилиякова, Н. И. Аристова, Е. В. Дерновая [и др.] // Виноградарство и виноделие : сб. научн. тр. НИВиВ «Магарач». Ялта, 2014. – Том XLIV. – С. 96–99.
12. Захарова А. М. Определение органических кислот, углеводов, подсластителей в пищевых продуктах и биологически активных добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / А. М. Захарова, Л. А. Карпова, И. Л. Гринштейн // Аналитика и контроль. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 204–210.
13. ГОСТ 31730-2012 Продукция винодельческая. Правила приемки и методы отбора проб. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
14. ГОСТ 26671-2014 Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Подготовка проб для лабораторных анализов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 7 с.
15. Р 4.1. 1672-03 Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 184 с.
16. ГОСТ 31726-2012 Добавки пищевые. Кислота лимонная безводная Е 330. Технические условия – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
17. ГОСТ 32030-2013 Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 7 с.
18. ГОСТ 52404-2005 Вина специальные и виноматериалы специальные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.
19. ГОСТ 32715-2014 Вина ликерные. Вина ликерные защищенных географических указаний, вина ликерные защищенных наименований места происхождения. Общие технические условия – М.: Стандартинформ, 2014. – 6 с.
20. ГОСТ 33336-2015. Вина игристые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.

DETERMINATION OF MAJOR ORGANIC ACIDS IN DIFFERENT TYPES OF WINES AFTER CARRYING OUT TECHNOLOGICAL METHODS

Aristova N.I.¹, Zaytsev G.P.¹, Panov D.A.²

¹*Government-Financed Establishment of the Republic of the Crimea "National Research Institute for Vine and Wine "Magarach", Crimea, Russian Federation*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*
E-mail: akademik_n@mail.ru

Wine materials and wines contains six major organic acids – tartaric, malic, lactic, citric, acetic and succinic. Tartaric and malic acids are the main representatives of aliphatic acids of wines, their combined share is 90% of all acids in wine. In the Russian Federation according to the rules of wine production to increase the acidity and correcting low acid wine you can add citric or tartaric acid not more than 2 g/dm³.

For the determination of organic acids in wines may using a number of physico-chemical methods: potentiometric, chromatography, spectrophotometry, capillary electrophoresis, etc. The most effective method in the determination of weak acids in wine is high performance liquid chromatography (HPLC).

The aim of this work was the determination of the mass concentration of main organic acids in still and sparkling wines by HPLC using a chromatographic system of Agilent Technologies (model 1100), after the technical admission control acidity with food citric acid.

The objects used were different types of wines: still and sparkling, produced by enterprises of the Republic of Crimea. To determine the mass concentrations of the major organic acids were used 18 samples of wine and 5 samples of sparkling.

Chromatograms were recorded at a wavelength of 210 nm for organic acids. The identification of components was carried out according to their retention time. Chromatography was performed in gradient mode. All definitions were carried out in three replicates. The research results were processed by standard methods of mathematical statistics. The relative error of the method was 2.8–3% at a confidence probability P=0,95.

Based on the data in the quiet white table wines value of the mass concentration of citric acid ranged from 86 to 982 mg/dm³, in a quiet red table – from 0 to 402 mg/dm³, special strong wines (port, sherry) – from 380 to 614 mg/dm³, liquor – 900 mg/dm³, and sparkling from 265 to 533 mg/dm³.

In the quiet wines the ratio of tartaric acid to malic is changed from 0.8 to 7.7, in the sparkling wines from 2.2 to 3.7, and "Novyi Svet, semi-dry" of 1.8. Studies have shown that the content of citric acid and titratable acidity in different types of wines produced by enterprises of the Republic of Crimea corresponds to the current normative documents GOST 32030-2013, GOST 52404-2005, GOST 32715-2014, GOST 33336-2015.

Keywords: mass concentration, organic acids, titratable acidity, citric acid, high-performance liquid chromatography.

References

1. Valuyki G. G., Koury V. T. Handbook of winemaking. Ed. 3-e, Rev., 588 p. (Tavrida, Simferopol, 2005). (in Russ.)
2. Kishkovsky Z. N., Skurikhin I. M. Wine chemistry, 254 p. (Agropromizdat, Moscow, 1988). (in Russ.)
3. A collection of basic rules, technological instructions and regulations in force for the production of wine products. Developed all-Russia scientifically-research Institute brewing, nonalcoholic and wine promyshlennosti of Rosselkhozakademii, approved. 05.05.98, 242 p. (Piwepromizdat, Moscow, 1998). (in Russ.)
4. Zinchenko, V. I., Kosura, V. T., Ogorodnik, S. T., Kochetkov, T. P., Krechetova, V. V. The use of citric acid to prevent the iron ticket office, *Horticulture, viticulture and winemaking Moldova*, **3**, 35 (1986). (in Russ.)
5. Smirnov V. A. Food acids, 264 p. (Light and food industry, Moscow, 1983). (in Russ.)
6. Zhilyakova T. A. Modern methods of monitoring of indicators of quality and safety of grape wine, *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University – Series: Biology, Chemistry*, **19 (58) 2**, 84 (2006). (in Russ.)
7. Kishkovsky Z.N., Merzhanian A.A. Technology of wine, 504 p. (Light and Food Industry, Moscow, 1984). (in Russ.)
8. E. A. Zakharova, M. L. Moskaleva, J. A. Akeneev, E. S. Moiseeva, G. B. Slepchenko, N. P. Picula Determination of total acidity and the content of citric acid in wines by potentiometric method. *Journal of analytical chemistry*, **66 (9)**, 964 (2011). (in Russ.)
9. Zoecklein, B. Wine analysis and production / B. Zoecklein, K.C.Fugelsang, B. Gump, F.S. Nury. – N.Y.; Springer US, 1999. – 621 p.
10. Aristova N.I. Techniques for the measurement of physical and chemical parameters for the quality control of wine products, *"Magarach": viticulture and winemaking*, **4**, 36 (2014). (in Russ.)
11. Zhilyakova T. A., Aristova N. And. Sod E., Alder J. L., Guseva I. P., Zaitsev, G. P. The definition of additional indicators of quality and safety of wine and soft drinks, *"Magarach": viticulture and winemaking*, **XLIV**, 96 (2014). (in Russ.)
12. A. M. Zakharov, L. A. Karpova, I. L. Greenstein Determination of organic acids, carbohydrate sweeteners in foods and dietary supplements by high-performance liquid chromatography analysis and control, **17, 2**, 204 (2013). (in Russ.)
13. *GOST 31730-2012 wine Production. Acceptance rules and sampling methods*, 12 p. (Standartinform, Moscow, 2013). (in Russ.)
14. *GOST 26671-2014 Products of processing fruits and vegetables, canned meat and meat plant. Preparation of samples for laboratory analyses*, 7 p. (Standartinform, Moscow, 2014). (in Russ.)
15. *P 4.1. 1672-03 Quality control methods Manual and safety of biologically active additives to food*, 184 p. (Federal Center gossanepidnadzora Russian Ministry of Health, Moscow, 2004). (in Russ.)
16. *GOST 31726-2012 food Supplements. Anhydrous citric acid E330. Specifications*, 19 p. (Standartinform, Moscow, 2014). (in Russ.)
17. *GOST 32030-2013 Wine canteen and wine canteen. General technical conditions*, 7 p. (Standartinform, Moscow, 2014). (in Russ.)
18. *GOST 52404-2005 Wine special, and wine special. General technical conditions*, 8 p. (Standartinform, Moscow, 2006). (in Russ.)
19. *GOST 32715-2014 Wine liqueur. Liqueur wines of protected geographical indications, protected liqueur wines of the appellations of origin. General specifications*, 6 p. (Standartinform, Moscow, 2014). (in Russ.)
20. *GOST 33336-2015. The wine sparkling. General technical conditions*, 11 p. (Standartinform, Moscow, 2015). (in Russ.)

УДК 547.963.1

ПРИМЕНЕНИЕ N-АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-L-АЛАНИЛ-D-ИЗОГЛУТАМИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ В КАЧЕСТВЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРОВ

Крылова А. М., Цикалова В. Н.

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

Рассмотрено проявление иммуноадьювантной, противоопухолевой, антиинфекционной активности *N*-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина (МДП) *in vivo* и *in vitro*. Показано, что сам МДП обладает рядом побочных эффектов, что препятствует его клиническому применению, поэтому актуальным становится синтез производных мурамоилдипептида с гидрофильными и липофильными свойствами. В качестве примеров представлены ромуртид, мурабутид, глимурид и ликопид как эффективные препараты с иммуномодулирующим действием.

Ключевые слова: *N*-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамин, мурамоилдипептид, адьювант, активность, иммуномодулятор.

ВВЕДЕНИЕ

С того момента как в 1974 году благодаря работе Е. Ледерера и С. Котани был идентифицирован *N*-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамин (мурамоилдипептид, МДП) как наименьшая активная единица клеточной стенки, входящая в состав активной фракции микобактерий, началась новая эра в иммунологии. Большие усилия ученых были направлены на установление связи «структура – активность» и привели к открытию новых синтетических низкомолекулярных адьювантов, стимулирующих выработку эндогенных медиаторов, синтез антителообразующих клеток, гиперчувствительность замедленного типа, неспецифическую резистентность к инфекциям, а также противоопухолевую активность.

В отличие от бактериальных иммуностимуляторов, синтетические адьюванты – аналоги МДП не токсичны, не иммуногенны и эффективны [1]. Некоторые из этих препаратов уже проходят расширенные клинические испытания. Свыше 800 аналогов МДП синтезированы в целях изучения взаимосвязи «структура – активность» и создания новых иммуномодуляторов.

В данном обзоре рассмотрены достижения в области адьювантной активности мурамоилдипептида и некоторых его синтетических аналогов.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ N-АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-L-АЛАНИЛ-D-ИЗОГЛУТАМИНА.

1.1. Иммуноадьювантная активность N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина.

В иммунологии термин «адьювант» обозначает способность вещества стимулировать гуморальный или клеточный иммунный ответ. Основными компонентами гуморальной иммунной системы защиты являются специфические антитела. Роль клеточной защитной системы иммунитета выполняют различные компоненты: Тс-клетки, имеющие собственные рецепторы; различные типы гранулоцитов и нормальные киллеры, которые при связывании с цитотоксичными антителами становятся специфическими защитными клетками.

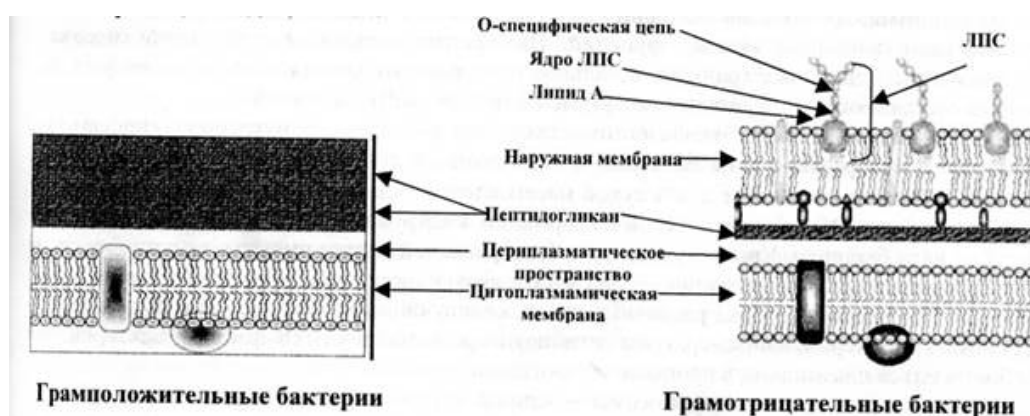
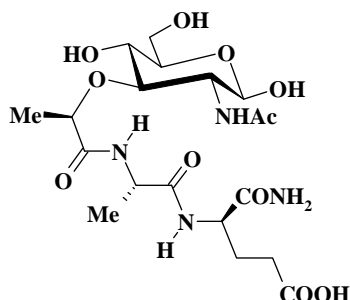


Рис. 1. Схема строения клеточной стенки грамположительной бактерии (золотистого стафилококка) и грамотрицательной бактерии (кишечной палочки).

N-Ацетилмурамил-L-аланил-D-изоглутамин **1**, входящий в состав пептидогликанов клеточных стенок многих бактерий, является минимальной адьювантно-активной структурой, способной заменить целые микробактериальные клетки. МДП стимулирует выработку антител при введении с антигеном в водно-масляной эмульсии и индуцирует реакцию гиперчувствительности замедленного типа [2]. В отличие от микобактериальных адьювантных препаратов, которые функционируют только в форме водно-масляных эмульсий, МДП стимулирует выработку антител при введении в водном растворе, в салине, а также при введении в липосомах [3].

МДП обладает адьювантным эффектом, способностью стимулировать антиинфекционную резистентность, противоопухолевый иммунитет, активировать иммунокомпетентные клетки, способен стимулировать выработку антителобразующих клеток независимо от метода введения антигена [4, 5]. Одновременное введение мурамоилдипептида с антибиотиками вызывает синергетическое противоинфекционное действие. Однако существуют серьезные препятствия к клиническому применению этого гликопептида – достаточно высокая

пирогенная активность и быстрое выведение из организма после системного введения вследствие высокой гидрофильности. Из-за быстрого выведения МДП с мочой препарат не успевает эффективно воздействовать на иммунокомпетентные клетки.



1

1.2. Противоопухолевое и антиинфекционное действие МДП.

Мурамоилдипептид не проявляет противоопухолевого эффекта *in vivo*, однако он сам и ряд его производных *in vitro* могут усиливать цитостатическую активность брюшинных макрофагов против опухолевых клеток [6]. Известно, что при инкапсулировании МДП в фосфатидилхолин-фосфатидилсериновые липосомы цитотоксичность макрофагов возрастала в 2 раза [7]. Препарат, введенный в салине, активирует макрофаги, которые ингибируют рост опухолевых клеток.

МДП обладает антиинфекционной активностью при внутривенном, подкожном и пероральном способах введения [8]. Препарат стимулирует устойчивость к инфекции *Trypanosoma cruzi* у мышей при введении профилактически до заражения или в течение первых 16 дней после инфицирования. Известно, что МДП стимулирует антимикробную активность фагоцитов мышей против инфекции *Candida parapsilosis* при введении в дозе 100 мкг [9]. Также обнаружена антиинфекционная активность против *Salmonella* [10]. Однако МДП не защищает от инфекции *Toxoplasma gondii* и *Listeria monocytogenes* [11]. При введении МДП или нор-МДП в неполный адьювант Фрейнда с использованием в качестве антигенов *Plasmodium baleiparum* или *P. knowlesi* появлялся защитный иммунитет против малярии у обезьян [12]. Проявленный эффект МДП связан со стимуляцией неспецифической устойчивости [6]. Сам мурамоилдипептид не обладает антигенными свойствами, но является гаптогеном [13].

1.3. Побочные эффекты N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина.

МДП обладает рядом побочных эффектов, о которых было сказано. Он токсичен, пирогенен, способен индуцировать аутоиммунные заболевания, в том числе адьювантные артриты, грануломы, скоротечную лейкопению, эндотоксический шок. Острая его токсичность составляет примерно 2200 мг/кг при внутрибрюшинном введении.

Мурамилпептид активирует костный мозг, высвобождает пирогенные факторы, такие как интерлейкин-1, и вызывает кратковременное увеличение кортизола в плазме. Показано, что МДП усиливает выделение простагландина E₂ из макрофагов [14]. Он может оказывать непосредственное влияние на термочувствительные

структуры мозга. Так, повышение температуры возникало при введении в 10 000 раз меньшей дозы в спинной мозг. Отмечено, что пирогенные свойства усиливаются при сочетании с полимерными носителями. Пирогенную активность МДП можно ингибировать путем введения индометацина, тормозящего синтез подобных медиаторов терморегуляции, при этом адьювантные свойства МДП сохраняются. МДП вызывал адьювантные артриты у крыс при введении в водно-масляной эмульсии, а также способствовал образованию обширной гранулемы на коже у иммунодефицитных крыс, обусловленному подавлением функции Т-клеток [15].

2. СТРУКТУРНЫЕ АНАЛОГИ N-АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-L-АЛАНИЛ-D-ИЗОГЛУТАМИНА И ИХ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ.

Перечисленные побочные эффекты N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина ограничивали его терапевтическое применение в качестве адьюванта [16]. Поэтому перед химиками-синтетиками стала задача получения производных МДП с минимальными побочными эффектами. В настоящее время синтезировано несколько десятков производных МДП с улучшенными фармакодинамикой, фармакокинетикой и биологической доступностью, обладающих большей иммуностимулирующей активностью и меньшими побочными эффектами в сравнении с исходным препаратом. Синтезирован ряд структурных аналогов МДП, обладающих меньшей пирогенностью и большей иммуностимулирующей активностью. Некоторые изученные эффекты в зависимости от активности препарата в системе *in vivo* и *in vitro* представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Эффекты, обусловленные активностью производных МДП в системе *in vivo*

Активность	Эффект
Модулирование специфического иммунного ответа	Потенцирование гуморального и клеточного иммунного ответа, усиление экспрессии антигенов ГКГ на поверхности моноцитов/макрофагов [17], регулирование баланса Th1/Th2-клеток
Усиление естественных защитных механизмов	Усиление пролиферации стволовых клеток костного мозга, транзиторная лейкопения с последующим лейкоцитозом, активация макрофагов, усиление активности естественных киллеров, повышение резистентности к бактериальным и грибковым инфекциям [18] и опухолевому росту
Нейрофармакологическая активность	Пирогенный, сомногенный эффекты; частичный серотонинэргический агонизм, индукция эндогенной продукции морфина [19]

Продолжение таблицы 1

<p>Другие биологической активности виды</p>	<p>Провоцирование геморрагического некроза в месте введения, образование эпителиоидной гранулемы, противоопухолевый эффект и индуцирование продукции интерферонов, увеличение проницаемости сосудов, снижение артериального давления за счет прямого действия на гладкую мускулатуру сосудов и ингибирования ангиотензин-конвертирующего фермента [20], противовоспалительная активность [21], гепатопротекторный эффект [22], предотвращение ишемического инсульта печени [23]</p>
---	---

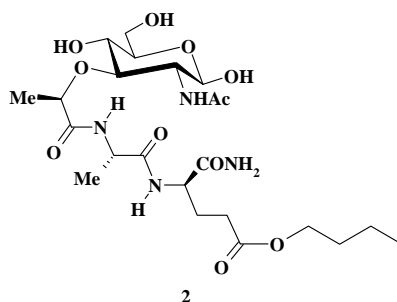
Таблица 2

Эффекты, обусловленные активностью производных МДП в системе *in vitro*

Активность	Эффект
<p>Стимулирование клеток, участвующих в иммунном ответе</p>	<p><i>Моноциты-макрофаги:</i> хемотаксис, стимуляция дифференцировки и фагоцитоза, супрессия синтеза ДНК, стимуляция освобождения лизосомальных ферментов и супероксида, усиление захвата глюкозамина, стимуляция продукции монокинов, простагландина и коллагеназы, индукция тумороксической и туморостатической активности, подавление в этих клетках репликации ВИЧ-1 [24], усиление экспрессии антигенов ГКГ, CD18, CD54 (ICAM-1), CD86 (B7-2) и др. <i>В-клетки:</i> митогенная активность, поликлональная активация, модуляция антителообразования, Т-хелпер-замещающая активность и др. <i>Т-клетки:</i> стимуляция дифференцировки, активация хелперной функции, индукция Т-киллеров, стимуляция реакции смешанной культуры лимфоцитов и др.; в высоких дозах активация Т-супрессоров <i>Другие клетки:</i> активация функций естественных киллеров, усиление фагоцитоза нейтрофилов, усиление освобождения гистамина тучными клетками, активация захвата гистидина базофилами</p>
<p>Эффекты на других клетках</p>	<p>Лизис и освобождение серотонина тромбоцитами, усиление пролиферации и выработки IL-1-подобного фактора фибробластами, усиление резорбции кости остеокластами, стимуляция продукции NO астроцитами</p>
<p>Действие на систему комплемента</p>	<p>Активация комплемента по классическому и альтернативному пути</p>

Некоторые производные МДП уже нашли клиническое применение в России или за рубежом, другие проходят клинические испытания. Разрешение на медицинское применение имеют такие препараты, как ромуртид (*N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин-*N*⁶-стеароил-*L*-лизин) в Японии и глимурид (β -гептилгликозид-МДП), ликопид (*N*-ацетилглюкозаминил-*N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин, глюкозаминил-МДП, ГМДП) – в России. Последний препарат в настоящее время проходит клинические испытания в США, Англии, Австралии и Дании. За рубежом внедрены в клиническую практику или находятся на завершающих этапах клинических испытаний такие препараты, как мурабутид (*N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин-*n*-бутиловый эфир), 6-*O*-(тетрадецилгексадеcanoил)-*N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин (вещество В30-MDP). Препарат фосфатидилэтаноламид MDP-*L*-аланина (МТР-РЕ) используется в качестве лекарственного средства для лечения вторичных иммунодефицитов и ряда опухолей. Большинство из представленных производных МДП имеет липофильный характер. Рассмотрим структуру и свойства некоторых из них.

2.1. Структура и свойства мурабутида.



Мурабутид (*n*-бутиловый эфир *N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин) 2 прошел 1-ю и 2-ю фазу клинических испытаний в Австралии. Он показал практически полное отсутствие побочных эффектов. Через 6–8 ч после подкожного введения мурабутида в дозе 100 мкг/кг 12 здоровым мужчинам происходило существенное повышение уровня полиморфноядерных нейтрофилов, которое возвращалось к норме через 24 ч, и в сыворотке выявлялось некоторое количество растворимых рецепторов, которые являются антагонистами для этих противовоспалительных цитокинов. Мурабутид (Франция) зарекомендовал себя как препарат, стимулирующий неспецифическую резистентность к вирусным инфекциям. Доказана его способность подавлять репликацию вируса иммунодефицита человека I типа в макрофагах и дендритных клетках [24].

2.2. Структура и свойства ромуртида.

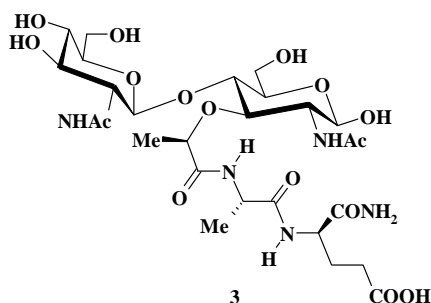
Ромуртид (ϵ -октадециламид MDP-*L*-лизина, название химического соединения – муруктазин, название лекарственного препарата – ромуртид) является первым иммуномодулятором мурамилдипептидного происхождения, разрешенным для медицинского применения. В доклинических исследованиях ромуртид повышал резистентность мышей к инфекциям, вызываемым *Corynebacterium kutscheri*,

Staphylococcus aureus, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* и *Listeria monocytogenes* [25–27].

Ромуртид оказывал существенный синергический эффект в защите животных от инфекции в комбинации с антибиотиками: цефазолином, гентамицином, амфотерицином В. В процессе доклинических и клинических исследований было установлено, что ромуртид является мощным индуктором синтеза ИЛ-1, ИЛ-6 и гранулоцитарного колониестимулирующего фактора (Г-КСФ) в культуре моноцитарно-макрофагальных клеток, стимулятором лейкопоэза [28, 29].

Полученные данные позволили сделать вывод, что ромуртид является высокоэффективным лекарственным средством для восстановления числа лейкоцитов у онкологических больных после химио- или радиотерапии. Доклинические и клинические исследования показали, что ромуртид является перспективным адьювантом. Разрабатываются методики применения этого производного мурамилдипептида для усиления эффекта противовирусных вакцин, в частности экспериментальных вакцин против гепатита В [27, 30].

2.3. Структура и свойства ликопида.



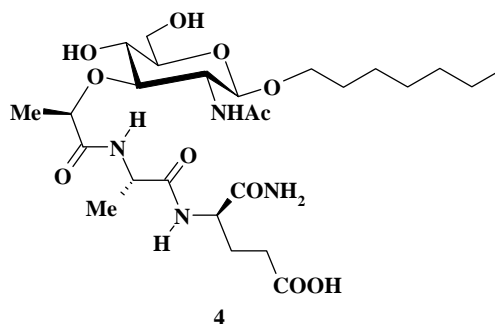
Ликопид (*N*-ацетилглюкозаминил-*N*-ацетилмурамил-*L*-аланил-*D*-изоглутамин, ГМДП) **3** по сравнению с МДП обладает более высокой иммуностимулирующей активностью и слабой пирогенностью. Ликопид способен стимулировать развитие как клеточного, так и гуморального иммунного ответа. При иммунизации мышей БЦЖ этот препарат увеличивает в 3 раза синтез фактора, угнетающего миграцию макрофагов [25]. Ликопид вызывает 2–5-кратное усиление антителообразования к корпускулярным и растворимым антигенам. В доклинических исследованиях выраженный стимулирующий эффект был выявлен при использовании ликопида как адьюванта в экспериментальной ВИЧ-вакцине [26]. Стимулирующий эффект этого препарата был примерно в 2 раза выше, чем у МДП. Данные исследования показывают, что ликопид является перспективным адьювантом, пригодным для использования в составе широкого спектра вакцин.

Ликопид обладает также и антиинфекционной активностью. Его применение за 1–4 дня перед введением смертельной дозы *E. coli* или *Ps. aeruginosa* защищает от 60 до 100 % животных от гибели, причем ликопид и в этом тесте более эффективен, чем МДП [25]. Ликопид обладает и антивирусной активностью, подавляет распространение вируса гриппа в организме зараженных мышей.

Ликопид – эффективный иммуномодулятор, он с большим успехом применяется в комплексе с антибактериальными и противовирусными средствами, например, при лечении герпетических инфекций. Данный препарат является лекарственным средством, способствующим стимуляции лейкопоэза. Ежедневное введение ликопида облученным животным в дозе 100 мкг в течение 8 дней достоверно увеличивает как общее число лейкоцитов, так и число нейтрофилов на 6–7-й день после облучения. Кроме того, ликопид обладает противоопухолевой активностью, тормозит рост некоторых перевиваемых опухолей, проявляет синергизм с другими противоопухолевыми агентами и иммуностимуляторами. Так, однократная инъекция циклофосфида за 1 ч до введения ликопида значительно ингибирует рост карциномы Льюиса LLC. В доклинических исследованиях комбинация ЛПС и ликопида полностью излечивала от тимомы EL-4, от саркомы Mc-11, у вылеченных мышей развивался противоопухолевый иммунитет. Результаты доклинических экспериментов и клинических испытаний показали высокий иммуностимулирующий эффект ликопида.

В настоящее время его применение разрешено при вторичных иммунодефицитных состояниях. Основными показаниями к назначению ликопида являются хронические неспецифические заболевания легких в стадиях обострения и ремиссии, острые и хронические гнойно-воспалительные процессы (постоперационные, посттравматические, постраневые), трофические язвы; туберкулез; острые и хронические вирусные инфекции, такие как генитальный и лабиальный герпес, герпетические кератиды и кератоувеиты, опоясывающий лишай, цитомегаловирусная инфекция; поражения шейки матки, вызванные вирусом папилломы человека, бактериальные и кандидозные вагиниты, урогенитальные инфекции [31].

2.4. Строение и свойства глимурида.



Действующим началом глимурида является амфифильный гликозидный дериват МДП (β -гептилгликозид-МДП). Высокая биодоступность и биологическая эффективность и низкая токсичность глимурида при пероральном приеме позволили внедрить это иммунотропное вещество в клиническую практику. Применение глимурида в лечении и реабилитации больных в резидуальную фазу хронического описторхоза вызывало стойкое восстановление угнетенной

фагоцитарной активности нейтрофильных гранулоцитов, нормализовало сывороточную концентрацию IgA, IgG и IgM.

Глимурид зарекомендовал себя как эффективный препарат для профилактики и коррекции иммунных и гематологических расстройств, вызванных химиотерапией злокачественных опухолей. Глимурид применялся в комплексной терапии хронического гепатита С, при этом была продемонстрирована высокая эффективность препарата, отмечен выраженный противовирусный эффект, вероятно, связанный с известной способностью мурамилдипептидов индуцировать продукцию интерферонов, а также с активацией специфических иммунных реакций в отношении вируса и инфицированных вирусом клеток.

При применении глимурида не выявлено отрицательных клинико-лабораторных побочных эффектов. На данный момент завершающий этап проходят работы по созданию на основе β -гептилгликозид-МДП, помимо парафармацевтика, иммуностропного лекарственного средства [32–34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрены иммуноадьювантная, противоопухолевая, антиинфекционная активности *N*-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина (МДП), являющегося наименьшей активной частицей клеточной стенки грамположительных и грамотрицательных бактерий.
2. Отмечено, что сам МДП наряду с адьювантными свойствами обладает рядом побочных эффектов, например токсичностью и пирогенностью, что препятствует его клиническому применению.
3. Рассмотрено действие некоторых синтетических производных мурамоилдипептида с гидрофильными, амфифильными и липофильными свойствами. В качестве примеров представлены ромуртид, мурабутид, глимурид и ликолипид как эффективные препараты с иммуномодулирующим действием.

Список литературы

1. Audibert F. Distinctive adjuvanticity of synthetic analogs of mycobacterial water-soluble components / F. Audibert, L. Chedid, P. Lefrancier [et al.]. // Cell Immunol – 1976 – Vol. 21 – P. 243–249.
2. Adjuvant activity of synthetic N-acetylmuramyl peptides in rats / A. Tanaka., R. Saito, K. Sugiyama [et al.] // Infect. Immunol. – 1977. – Vol. 15. – P. 332–334.
3. Masek K. Immunoadjuvant activity of synthetic N-acetyl muramyl dipeptide / K. Masek, M. Zaoral, J. Jezek, [et al.]. // Experientia – 1978. – Vol. 34. –P. 1363–1364.
4. Modulation of the immune response by a synthetic adjuvant and analogs / L. Chedid, F. Audibert, P. Lefrancier [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. – 1976. – Vol. 73. – P. 2472–2475.
5. Chedid L. The role of nonspecific immunity in the prevention and treatment of cancer / L. Chedid // Ed. M. Sela. Amsterdam; New York; Oxford. – 1979. – P. 219–238.
6. Adam A. Chemical structure, biological activity and mechanism of action / A. Adam, J-F. Petit, Lefrancier [et al.] // Mol. Cell. Biochem. – 1981. –Vol. 41, № 4. – P. 27–47.
7. Fidler I. J. The in situ induction of tumoricidal activity in alveolar macrophages by liposomes containing muramyl dipeptide is a thymus-independent process / I. J. Fidler // J.Immunol. – 1981. – Vol. 127. – P. 1719–1720.

8. Enhancement of nonspecific immunity to *Klebsiella pneumoniae* infection by a synthetic immunoadjuvant (*N*-acetylmuramyl-L-alanyl-D-isoglutamine) and several analogs / L. Chedid, M. Parant, H. Parant [et al.] // Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. – 1979. – Vol. 74. – P. 2089–2093.
9. Nozawe R. Stimulation by conditioned medium of L-929 fibroblasts, *E. coli* lipopolysaccharide, and muramyl dipeptide of candidacidal activity of mouse macrophages / R. Nozawe, R. Sekiguchi, T. Yokota // Cell. Immunol. – 1980. – Vol. 53. – P. 116–124.
10. Dietrich F. M. Current Chemotherapy and infectious disease / F. M. Dietrich, W. Sachmann, O. Zak, [et al.] // Ed. J. D. Nelson., C. Grassi. Boston. – 1979. – Vol. 2. – P. 1730–1732.
11. Prevention of oncogenic viral infections in mice with CGP 11637, a synthetic muramyl dipeptide analog / H. F. Acevedo, R. B. Raikov, H. O. Acevedo [et al.] // Antimicrobial Agents and Chemother. – 1985. – Vol. 28. – P. 589–596.
12. Immunization against malaria with antigen from *Plasmodium falciparum* cultivated in vitro / Reese R. T., Trager W., Jeansen J. B. [et al.] // Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. – 1978. – Vol. 75. – P. 5665–5668.
13. Джексенбаев О. Ш. Биологические свойства синтетических гликопептидов – стимуляторов иммуногенеза и неспецифической резистентности / О. Ш. Джексенбаев // Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. – 1981. – № 8. – С. 13–18.
14. Macrophage activation by mycobacterial water soluble compounds and synthetic muramyl dipeptide / Wahl S. M., Wahl I. M., McCarthy J. B. [et al.] // J. Immunol. – 1979. – Vol. 122. – P. 2226–2231.
15. Epithelioid Granuloma Induced by Muramyl Dipeptide in Immunologically Deficient Rats / Nagao S., Ota F., Emori K. [et al.] // Infect. Immunol. – 1981. – Vol. 34. – P. 993–999.
16. Delvin J. P. The design and synthesis of immune regulatory agents: Targets and approaches / Delvin J. P., Hargrave K. D. // Tetrahedron. – 1989. – Vol. 45. – P. 4327–4369.
17. Muramyl peptides augment expression of Ia-antigens on mouse macrophages / V. A. Nesmeyanov, S. V. Khaidukov, R.L. Komeleva [et al.] // Biomed. Sci. – 1990. – Vol. 1. – P. 151–154.
18. Parant M. Influence of synthetic adjuvants on nonspecific resistance to infections / M. Parant // Int. J. Immunopharmac. – 1994. – Vol. 16 (5–6). – P. 445–449.
19. Munjal I. D. Role of endogenous morphine in the attenuation of opiate withdrawal syndrome by *N*-acetylmuramyl-L-alanine-D-isoglutamine (MDP) / I. D. Munjal, D. Schmidt, S. Spector // Neuropsychopharmacology. – 1996. – Vol. 15(1). – P. 99–103.
20. Masek K. Immunopharmacology of muramyl peptides / K. Masek // Federat. Proc. – 1986. – Vol. 45 (11). – P. 2549–2551.
21. Zidek Z. Antiinflammatory effects of muramyl dipeptide in experimental models of acute inflammation / Z. Zidek, K. Masek, F. Sedevy // Agents Actions. – 1984. – Vol. 14. – P. 72–75.
22. The protection from hepatotoxicity of some compounds by the synthetic immunomodulator muramyl dipeptide (MDP) in rat hepatocytes and in vivo / Farghali H., Machkova Z., Kamenikova L. [et al.] // Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol. – 1984. – Vol. 6/8. – P. 449–454.
23. Improvement of normothermic rat liver ischemia/reperfusion by muramyl dipeptide / R. Cursio, J. Gugenheim, P. Panaia-Ferrari [et al.] // J. Surg. Res. – 1998. – Vol. 80(2). – P. 339–344.
24. The synthetic immunomodulator murabutide controls human immunodeficiency virus type 1 replication at multiple levels in macrophages and dendritic cells / E.C. Darcissac, M.J. Truong, J. Dewulf [et al.] // J. Virol. 2000. – Vol. – 74 (17). – P. 7794–7802.
25. Андропова Т. Мурамилдипептиды – иммунотропные лекарственные средства нового поколения / Т. Андропова, Б. Пинегин // Венеролог. – 2006. – № 6. – С. 11–15.
26. Пинегин Б. В. Иммуномодуляторы и некоторые аспекты их клинического применения / Б. В. Пинегин, Р. М. Хаитов // Клиническая медицина. – 1996. – № 8. – С. 7–12.
27. Караулов А. В. Производные мурамилдипептида в клинике / Караулов А. В., Калюжин О. В., Ликов В. Ф. // Актуальные вопросы клинической медицины. – 2002. – Т. 2. – С. 93–100.
28. Особенности продукции цитокинов, субпопуляционного состава лимфоцитов и функционального состояния нейтрофилов при неонатальных пневмониях и способы иммунокоррекции / М. В. Дегтярева, Н. Н. Володин, К. К. Бахтиян [и др.] // Медицинская иммунология. – 2000. – Т. 2. – № 1. – С. 69–76.
29. Azuma I. Review: Inducer of cytokines in vivo: overview of field and muramyl dipeptide experience / I. Azuma // Int. J. Immunopharmacol. – 1992. – Vol. 14. – P. 487–496.

30. Enhancing activity of mycobacterial cell-derived adjuvants on immunogenicity of recombinant human hepatitis B virus vaccine / Y. Koike, Y. C. Yoo, M. Mitobe [et al.] // *Vaccine*. – 1998. – Vol. 16, N 20. – P. 1982–1989.
31. Винницкий Л. И. Отечественный иммуномодулятор нового поколения ликолипид в комплексном лечении и профилактике инфекционных осложнений в хирургической практике / Л. И. Винницкий, К. А. Бунатян, Б. В. Пинегин // *Вестник РАМН*. – 1997. – № 11. – С. 46–48.
32. Биологическая активность аномерных пар липофильных гликозидов N-ацетилмурамил-L-аланил-D-изоглутамина / О. В. Калюжин, А. Е. Земляков, Н. Г. Калина [и др.] // *Бюл. эксп. биол. мед.* – 2008. – Т. 145, № 5. – С. 561–564.
33. Караулов А. В. Биологическая активность гликозидных производных N-ацетилмурамил-L-аланил-D-изоглутамина / А. В. Караулов, О. В. Калюжин, А. Е. Земляков // *Российский биотерапевтический журнал*. – 2002. – № 1. – С. 12–24.
34. Действие циклоалкилгликозидов мурамилдипептида на антибактериальную резистентность мышей и продукцию цитокинов мононуклеарами человека / О. В. Калюжин, Д. С. Лобанов, Е. Л. Мулик [и др.] // *Бюл. эксп. биол. мед.* – 2009. – Т. 148, № 10. – С. 426–429.

USE OF N-ACETYLMURAMOYL-L-ALANIN-D-ISOGLUTAMINE AND ITS DERIVATIVES AS IMMUNOMODULATORS

Krylova A. M., Tsikalova V. N.

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

In 1974 scientists-chemists E. Lederer and S. Kotani identified *N*-acetylmuramoyl-L-alanyl-D-isoglutamine (muramyldipeptide, MDP) as the least unit of a cell wall of gram-positive and gram-negative bacteria and as a part of the fissile fraction of micobacteria. From this point the new time in an immunology began. Great efforts of scientists were directed to establish of relationship structure–activity for derivatives of muramyldipeptide. New synthetic low-molecular adjuvants were made. *N*-Acetylmuramoyl-L-alanyl-D-isoglutamine as an adjuvant influences on nonspecific resistance to infections, activates synthesis of endogenic mediators, induces a hypersensitivity of delayed type, and also evinces antitumor activity. However it was noted that *N*-acetylmuramoyl-L-alanyl-D-isoglutamine along with adjuvant properties has a number of the ghost effects, for example toxicity and pyrogenicity. These properties interferes with its clinical application. Therefore preparation of synthetic adjuvants, analogues of muramyl dipeptide is an actual task. Synthetic adjuvants are non-toxic, non-immunogenic and high effective. Some of these drugs are already undergoing advanced clinical trials. More than 800 MDP analogues have been synthesized for the purpose of studying the structure–activity relationship and the made of new immunomodulators. The action of some synthetic derivatives of muramoyl dipeptide with hydrophilic, amphiphilic and lipophilic properties were described. Examples are Romurtide, Murabutide, Glimurid and Lycopid as effective drugs with immunomodulating actions. Murabutide (France) has established itself as a drug that stimulate nonspecific resistance to virus infections. Romurtide (Japan) is a highly effective drug for restoring the number of leukocytes in cancer patients after chemotherapy or radiotherapy. Lycopid is able to stimulate the development of both a cell and humoral immune response. It also has antiinfective activity. Glimurid (Russia) was

established as an effective drug for the prevention and correction of immune and hematological disorders caused by chemotherapy of cancerous tumors.

Keywords: *N*-acetylmuramoyl-L-alanyl-D-isoglutamine, muramoyldipeptide, MDP, adjuvant, activity, immunomodulator.

References

1. Audibert F., Chedid L., Lefrancier P., and Choay J. Distinctive adjuvanticity of synthetic analogs of mycobacterial water-soluble components, *Cell Immunol*, **21**, 243 (1976).
2. Tanaka A., Saito R., Sugiyama K., Morisaki I., Kotani S., Kusumoto S., and Shiba T. Adjuvant activity of synthetic *N*-acetylmuramyl peptides in rats, *Infect. Immunol*, **15**, 332 (1977).
3. Masek K., Zaoral M., Jezek J., Straka R. Immunoadjuvant activity of synthetic *N*-acetyl muramyl dipeptide, *Experientia*, **34**, 1363 (1978).
4. Chedid L., Audibert F., Lefrancier P., Choay J., Lederer E. Modulation of the immune response by a synthetic adjuvant and analogs, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **73**, 2472 (1976).
5. Chedid L. The role of nonspecific immunity in the prevention and treatment of cancer, *Ed. M. Sela. Amsterdam; New York; Oxford*, 219 (1979).
6. Adam A., Petit J.F., Lefrancier P., Lederer E. Chemical structure, biological activity and mechanism of action, *Mol. Cell. Biochem.*, **41(4)**, 27 (1981).
7. Fidler I. J. The in situ induction of tumoricidal activity in alveolar macrophages by liposomes containing muramyl dipeptide is a thymus-independent process, *J. Immunol.*, **127**, 1719 (1981).
8. Chedid L., Parant M., Parant F., Lefrancier P., Choay J., Lederer E. Enhancement of nonspecific immunity to Klebsiella pneumonia infection by a synthetic immunoadjuvant (*N*-acetylmuramyl-L-alanyl-D-isoglutamine) and several analogs, *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **74**, 2089 (1979).
9. Nozawa R., Sekiguchi R., Yokota T. Stimulation by conditioned medium of L-929 fibroblasts, *E. coli* lipopolysaccharide, and muramyl dipeptide of candidacidal activity of mouse macrophages, *Cell. Immunol.*, **53**, 116 (1980).
10. Dietrich F. M., Sachmann W., Zak O., Dukor P. Current Chemotherapy and infectious disease, *Proc. 11th Int. Congr. Chemotherapy*, **2**, 1730 (1979).
11. Acevedo H. F., Raikow R. B., Acevedo H. O., Delgado T. F., Pardo M. Prevention of oncogenic viral infections in mice with CGP 11637, a synthetic muramyl dipeptide analog, *Antimicrobial Agents and Chemother.*, **28**, 589 (1985).
12. Reese R. T., Trager W., Jensen J. B., Millert D. A., Tantravahit R. Immunization against malaria with antigen from *Plasmodium falciparum* cultivated in vitro, *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **75**, 5665 (1978).
13. Dzheksenbaev O. Sh. Biological properties of synthetic glycopeptides-stimulators of immunogenesis and nonspecific resistance, *Zhurn. microbiology, epidemiology and immunology*, **8**, 13 (1981). (*in Russ.*)
14. Wahl S. M., Wahl I. M., McCarthy J. B., Chedid L. Macrophage activation by mycobacterial water soluble compounds and synthetic muramyl dipeptide, *J. Immunol.*, **122**, 2226 (1979).
15. Nagao S., Ota F., Emori K., Inoue K., Tanaka A. Epithelioid Granuloma Induced by Muramyl Dipeptide in Immunologically Deficient Rats, *Infect. Immunol.*, **34**, 993 (1981).
16. Delvin J. P., Hargrave K. D. The design and synthesis of immune regulatory agents: Targets and approaches, *Tetrahedron*, **45**, 4327 (1989).
17. Nesmeyanov V. A., Khaidukov S. V., Komaleva R. L., Andronova T. M., Ivanov V. T. Muramylpeptides augment expression of Ia-antigens on mouse macrophages, *Biomed. Sci.*, **1**, 151 (1990).
18. Parant M. Influence of synthetic adjuvants on nonspecific resistance to infections, *Int. J. Immunopharmac.*, **16 (5-6)**, 445 (1994).
19. Munjal I. D., Schmidt D., Spector S. Role of endogenous morphine in the attenuation of opiate withdrawal syndrome by *N*-acetylmuramyl-L-alanine-D-isoglutamine, *Neuropsychopharmacology*, **15(1)**, 99 (1996).
20. Masek K. Immunopharmacology of muramyl peptides, *Federat. Proc.*, **45 (11)**, 2549 (1986).
21. Zidek Z., Masek K., Sedevy F. Antiinflammatory effects of muramyl dipeptide in experimental models of acute inflammation, *Agents Actions*, **14**, 72 (1984).

22. Farghali H., Machková Z., Kameníková L., Janků I., Masek K. The protection from hepatotoxicity of some compounds by the synthetic immunomodulator muramyl dipeptide (MDP) in rat hepatocytes and in vivo, *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.*, **6/8**, 449 (1984).
23. Cursio R., Gugenheim J., Panaia-Ferrari P., Lasfar A., Tovey M., Chastanet S., Saint-Paul M. C., Ferré C., Mouiel J. Improvement of normothermic rat liver ischemia/reperfusion by muramyl dipeptide, *J. Surg. Res.*, **80(2)**, 339 (1998).
24. Darcissac E., Truong M. J., Dewulf J., Mouton Yv., Capron A., George M. Bahr. The synthetic immunomodulator murabutide controls human immunodeficiency virus type 1 replication at multiple levels in macrophages and dendritic cells, *J. Virol.*, **74 (17)**, 7794 (2000).
25. Andronova T., Pinegin B. Muramildipeptidy – immunotropic drugs of a new generation, *Venereologist*, **6**, 11 (2006). (in Russ.).
26. Pinegin B. V., Haitov P. M. Immunomodulators and some aspects of their clinical application, *Clinical medicine*, **8**, 7 (1996). (in Russ.).
27. Karaulov A. V., Kalyuzhin O. V., Likov V. F. Derivatives of muramyl dipeptide in the clinic, *Topical issues of clinical medicine*, **2**, 93 (2002). (in Russ.).
28. Degtyareva M. V., Volodin N. N., Bakhtikyan K. K., Soldatova I. G., Kovalchuk L.V., Gankovskaya L. V., Krivtunova L. N. Features of the production of cytokines, the subpopulation composition of lymphocytes and the functional state of neutrophils in neonatal pneumonia and immunocorrection methods, *Medical immunology*, **2**, 69 (2000). (in Russ.).
29. Azuma I. Review: Inducer of cytokines in vivo: overview of field and romurtide experience, *Int. J. Immunopharmacol.*, **14**, 487 (1992).
30. Koike Y., Yoo Y. C., Mitobe M., Oka T., Okuma K., Tono-oka S., Azuma I. Enhancing activity of mycobacterial cell-derived adjuvants on immunogenicity of recombinant human hepatitis B virus vaccine, *Vaccine*, **16**, 1982 (1998).
31. Vinnitsky L. I., Bunatyan K. A., Pinegin B. V. The domestic immunomodulator of the new generation of lycopides in the complex treatment and prevention of infectious complications in surgical practice, *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, **11**, 46 (1997). (in Russ.).
32. Kalyuzhin O. V., Zemlyakov A. E., Kalina N. G., Mulik E. L., Kuzovlev F.N., Makarova O. V. Biological activity of anomeric pairs of lipophilic glycosides of N-acetylmuramyl-L-alanine-D-isoglutamine, *Bul. exp. Biol. Honey*, **145**, 561 (2008). (in Russ.).
33. Karaulov A. V., Kalyuzhin O. V., Zemlyakov A. E. Biological activity of glycoside derivatives of N-acetylmuramyl-L-alanyl-D-isoglutamine, *Russian Biotherapeutic Journal*, **1**, 12 (2002). (in Russ.).
34. Kalyuzhin O. V., Lobanov D. S., Mulik E. L., Kimpaeva D. S., Zemlyakov A. E., Kalina N. G., Karaulov A. V. Action of cycloalkyl glycosides of muramyl dipeptide on antibacterial resistance of mice and production of cytokines by human mononuclears, *Bul. exp. Biol. Honey*, **148**, 426 (2009). (in Russ.).

УДК 547.918:547.466.2:543.42

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС МОНОАММОНИЙНОЙ СОЛИ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ (ГЛИЦИРАМА) С КОФЕИНОМ

Яковишин Л. А.¹, Гришковец В. И.², Корж Е. Н.¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

²Таврическая 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, включающий моноаммонийную соль глицирризиновой кислоты (глицирам, GC) и кофеин (Caf). Методом спектрофотометрии исследовано комплексообразование GC с Caf в водных растворах при pH 7,2. Показано, что GC образует с Caf комплекс состава 1:1, имеющий константу устойчивости $K_{GC-Caf}=5,34 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$. GC формирует комплекс с Caf при участии водородных связей и за счет гидрофобных взаимодействий, что было установлено методом ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: тритерпеновые гликозиды, глицирризиновая кислота, глицирам, кофеин, супрамолекулярный комплекс, спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, константа устойчивости.

ВВЕДЕНИЕ

Алкалоид кофеин (Caf) содержится в зернах кофе, орехах кола, какао-бобах, листьях чая и мате [1–3]. Он стимулирует центральную нервную систему, ослабляет действие снотворных и наркотических препаратов, обладает мочегонным свойством и усиливает сердечную деятельность [4]. Ранее было рассмотрено взаимодействие Caf с глюкозой [5], сахарозой [5–7] и α - и β -циклодекстринами [7, 8].

В настоящее время широко изучается молекулярное капсулирование различных биологически активных веществ с помощью тритерпеновых гликозидов [9, 10]. При этом получены молекулярные комплексы глицирризиновой кислоты (3-*O*- β -*D*-глюкуронопиранозил-(1→2)-*O*- β -*D*-глюкуронопиранозида глицирретиновой кислоты), преобладающего тритерпенового гликозида корней солодки *Glycyrrhiza glabra* L., и ее моноаммонийной соли (глицирама, GC, рис. 1) с различными алкалоидами [9, 11, 12]. Однако особенности межмолекулярного взаимодействия Caf с GC ранее не рассматривались. В настоящей статье приведены результаты спектрофотометрического и ИК-спектроскопического исследования их молекулярного комплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образец GC фирмы Calbiochem (США). Комплекс GC с Caf препаративно получали жидкофазным способом. Для этого смешивали растворы, содержащие по 1 ммоль GC и 1 ммоль Caf (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 20–22 °С на спектрофотометре Unicо UV-Vis 4802 (США) в кварцевых кюветках ($l=1$ см). Для составления изомолярной серии использовали 10^{-4} М водные растворы GC и Caf (рН 7,2, фосфатный буфер $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{--NaH}_2\text{PO}_4$). Полученные смеси выдерживали при температуре 20–22 °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 $\lambda=272$ нм.

ИК-спектры сняты с твердых образцов на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (Россия) с универсальной оптической приставкой НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) с элементом из селенида цинка и встроенной системой визуализации на внешнем мониторе. Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaiR 3.5.

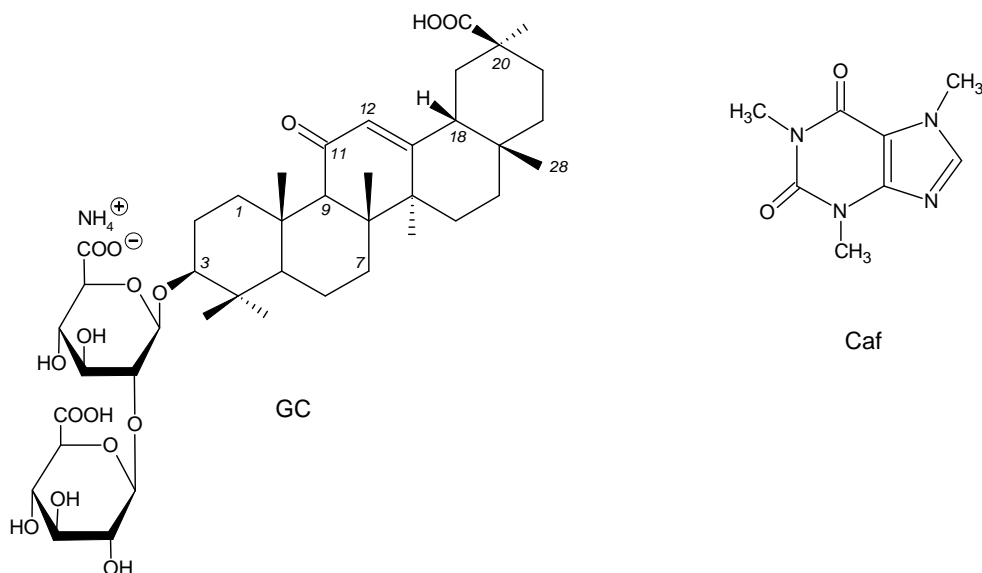


Рис. 1. Моноаммонийная соль глицирризиновой кислоты (глицирам, GC) и кофеин (Caf).

ИК-спектр GC (ν , cm^{-1}): 3204 (OH, NH), 2931 (CH), 1715 (C=O), 1698 (C=O), 1646 (C(11)=O, C=C), 1590 (COO^-), 1455 (CH_2 , CH_3), 1410 (COO^-), 1421 (NH_4^+), 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 Caf (ν , cm^{-1}): 3109 (CH), 2953 (CH), 1692 (C=O), 1644 (N=C, C=O), 1598 (C=C), 1547 (кольцо), 1480 (CH_3), 1454 (CH_3), 1428 (CH_3), 1402 (CH_3), 1358 (кольцо), 1326 (C–N), 1284 (C–N), 1237 (C–N), 1188 (C–N, C–H), 1071 (C–N), 1024

(N-CH₃), 972 (N-CH₃), 926 (N-CH₃), 859 (N=C-H), 758 (C=O), 743 (C-C=O), 700 (N-C=O), 644 (C=C-N), 609 (C=C-C, C=O).

ИК-спектр комплекса GC с Caf (ν , см⁻¹): 3393 (OH), 3239 (OH, NH), 3119 (CH), 3039 (CH), 2945 (CH), 1702 (C=O_{GC}, C=O_{Caf}), 1649 (N=C, C=O_{Caf}, C(11)=O_{GC}, C=C_{GC}), 1601 (C=C_{Caf}, COO⁻), 1547 (кольцо), 1485 (CH₃), 1451 (CH₂, CH₃), 1431 (CH₃, NH₄⁺), 1411 (CH₃, COO⁻), 1357 (кольцо), 1328 (C-N), 1287 (C-N), 1238 (C-N), 1190 (C-N, C-H), 1167 (C-O-C, C-OH), 1071 (C-N, C-O-C, C-OH), 1025 (C-O-C, C-OH, N-CH₃), 974 (N-CH₃, =CH_{GC}), 926 (N-CH₃), 861 (N=C-H), 760 (C=O), 744 (C-C=O), 695 (N-C=O), 646 (C=C-N), 611 (C=C-C, C=O).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Состав комплекса GC с Caf, равный 1:1, определен методом изоляричных серий. Изоляричная кривая приведена на Рис. 2. Спектр поглощения изоляричной серии GC с Caf обладает изобестическими точками при 231 и 266 нм (рис. 3).

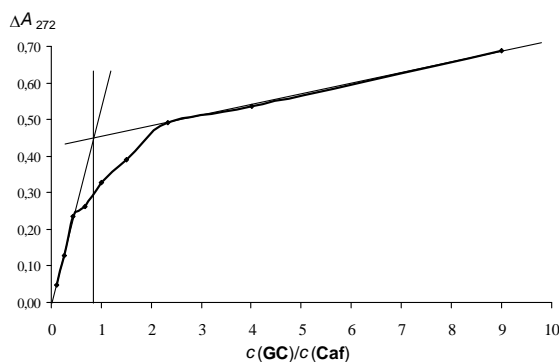
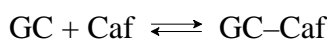


Рис. 2. Зависимость изменения оптической плотности ΔA от соотношения компонентов изоляричной серии при $\lambda=272$ нм ($c(\text{Caf})=10^{-4}$ М, $c(\text{GC})=10^{-4}$ М, pH 7,2).

Между GC и Caf устанавливается равновесие:



$$K_{\text{GC-Caf}} = \frac{[\text{GC-Caf}]}{[\text{GC}][\text{Caf}]}, \quad (1)$$

где $K_{\text{GC-Caf}}$ – константа устойчивости комплекса.

$K_{\text{GC-Caf}}$, равная $5,34 \cdot 10^4 \text{ М}^{-1}$, была рассчитана по методу А. К. Бабко на основе изоляричной кривой по формуле 2 [13]. У ранее полученных комплексов GC с биологически активными молекулами, имеющими состав 1:1, K имели тот же порядок [14–16].

$$K = \frac{\Delta A_0 \Delta A_1}{c(\Delta A_0 - \Delta A_1)^2}, \quad (2)$$

где c – суммарная концентрация веществ, равная 10^{-4} М, ΔA_0 – изменение оптической плотности, соответствующее комплексу при полном отсутствии диссоциации, а ΔA_1 – изменение оптической плотности, соответствующее значению на фактической кривой.

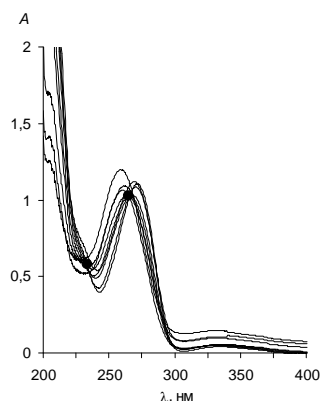
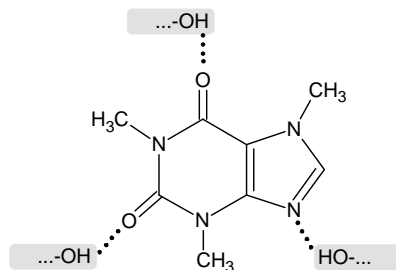


Рис. 3. Кривые поглощения изомолярной серии растворов ($c(\text{Caf})=10^{-4}$ М, $c(\text{GC})=10^{-4}$ М, pH 7,2).

В молекуле Caf имеется три акцепторных центра протонов. Это две группы C=O пиридинового и атом азота имидазольного колец [17]. Они могут образовывать межмолекулярные водородные связи:



Природу межмолекулярных взаимодействий в комплексах подтверждали методом ИК-спектроскопии. В ИК-спектре комплекса Caf с GC (рис. 4) наблюдается две уширенные полосы поглощения валентных колебаний OH-групп. У комплекса GC–Caf это полосы при 3403 и 3258 cm^{-1} . В спектре индивидуального GC колебания OH-групп проявляются только в виде одной полосы при 3204 cm^{-1} .

При комплексообразовании у Caf происходит смещение полос поглощения связей C=O (при 1692 cm^{-1}), N=C и C=O (при 1644 cm^{-1}) и N–C=O (при 700 cm^{-1}),

подтверждающее участие его групп C=O и имидазольного атома азота в образовании водородных связей с OH-группами GC. Это смещение составило +10, +5 и -7 см⁻¹ соответственно.

Межмолекулярное взаимодействие вызывает сдвиги полос поглощения связей C–O в C–O–C и C–OH у GC. Наибольшее смещение наблюдается у полосы 1039 см⁻¹ ($\Delta\nu = -14$ см⁻¹).

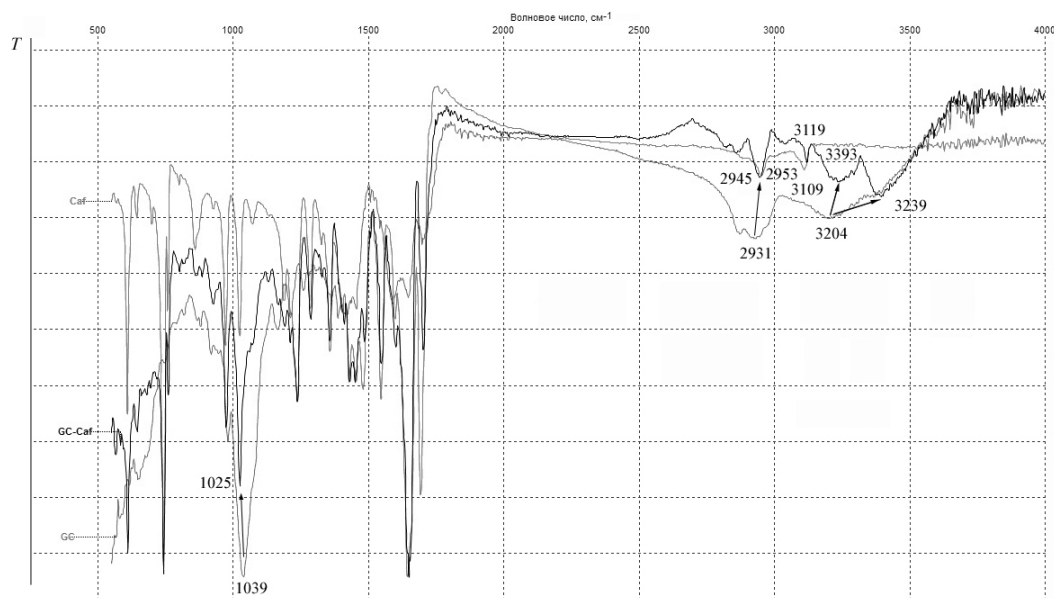


Рис. 4. ИК-спектры Caf, GC и их молекулярного комплекса.

У GC при взаимодействии с Caf $\nu_{C=O}$ изменяется на -13 и +4 см⁻¹, что подтверждает участие COOH-групп в образовании водородных связей с Caf. Образование водородных связей молекулой глицирризиновой кислоты в комплексах приводило к смещению ее полосы поглощения $\nu_{C=O}$ на 10–20 см⁻¹ [18].

При взаимодействии гликозидов с Caf в ИК-спектрах наблюдаются также сдвиги некоторых полос поглощения связей CH и колец, что вызвано гидрофобными взаимодействиями агликонной части GC с ароматической системой и метильными группами Caf. Наличие гидрофобных контактов ранее было установлено и при взаимодействии Caf с глюкозой и сахарозой [5]. Одной из причин высокой устойчивости молекулярных комплексов тритерпеновых гликозидов с биологически активными веществами являются гидрофобные взаимодействия между ними [19, 20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые получен молекулярный комплекс GC с Caf состава 1:1. Константа устойчивости комплекса $K_{GC-Caf} = 5,34 \cdot 10^4$ М⁻¹.

2. GC связывается в комплекс водородными связями при участии его OH- и COOH-групп ($C=O_{\text{Car}} \cdots H-O_{\text{GC}}$ и $=N:_{\text{Car}} \cdots H-O_{\text{GC}}$).
3. При взаимодействии GC с Caf имеют место гидрофобные контакты, которые могут объяснить высокую устойчивость их супрамолекулярного комплекса.

Список литературы

1. Химический анализ лекарственных растений; под ред. Гринкевич Н. И., Сафронич Л. Н. – М.: Высш. шк., 1983. – 176 с.
2. Ashihara H. Caffeine and related purine alkaloids: Biosynthesis, catabolism, function and genetic engineering / H. Ashihara, H. Sano, A. Crozier // *Phytochemistry*. – 2008. – Vol. 69, № 4. – P. 841-856.
3. Hostettmann K. The potential of African plants as a source of drugs / K. Hostettmann, A. Marston, K. Ndjoko, J.-L. Wolfender // *Cur. Org. Chem.* – 2000. – Vol. 4, № 10. – P. 973-1010.
4. Машковский М. Д. Лекарственные средства: в 2 т. / М. Д. Машковский. – [13-е изд.]. – Харьков: Торсинг, 1997. – Т. 1. – 560 с.
5. Caffeine and sugars interact in aqueous solutions: a simulation and NMR study / L. Tavagnacco, O. Engström, U. Schnupf [et al.] // *J. Phys. Chem. B*. – 2012. – Vol. 116, № 38. – P. 11701-11711.
6. Lilley T. H. Association of caffeine in water and in aqueous solutions of sucrose / T. H. Lilley, H. Linsdell, A. Maestre // *J. Chem. Soc., Faraday Trans.* – 1992. – Vol. 88, № 19. – P. 2865-2870.
7. Hydration and self-association of caffeine molecules in aqueous solution: comparative effects of sucrose and β -cyclodextrin / M. Mejri, A. BenSouissi, V. Aroulmoji, B. Rogé // *Spectrochim. Acta A*. – 2009. – Vol. 73, № 1. – P. 6-10.
8. Терехова И. В. Термодинамика комплексообразования α -циклодекстрина с основаниями нуклеиновых кислот и их производными / И. В. Терехова, П. В. Лапшев, О. В. Куликов // *Коорд. химия*. – 2003. – Т. 29, № 1. – С. 78-80.
9. 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.
10. Molecular complexation of ivy saponins with some drugs and biologically active substances / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets, G. Schroeder, N. I. Borisenko // *Functionalized molecules – synthesis, properties and application*; ed. V.I. Rybachenko. – Donetsk: Schidnyj wydawnyczyj dim, 2010. – Chapter 4. – P. 85-103.
11. 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.
12. Смагулова М. Е. Изучение комплексообразования глицирама с биологически активными лигандами / М. Е. Смагулова, К. М. Бекетов, М. Ф. Фасхутдинов // *Хим. журн. Казахстана*. – 2009. – № 3. – С. 10-14.
13. Бабко А. К. Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах / А. К. Бабко. – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 328 с.
14. 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.
15. Молекулярные комплексы тритерпеновых гликозидов плюща и солодки с доксорубицином / Л. А. Яковишин, В. И. Гришковец, А. В. Клименко [и др.] // *Хим.-фарм. журн.* – 2014. – Т. 48, № 6. – С. 37-40.
16. Физико-химическая характеристика и биологическая активность супрамолекулярного комплекса глицирама с β -циклодекстрином / Л. А. Яковишин, В. И. Гришковец, Е. Н. Корж [и др.] // *Макрогетероциклы*. – 2015. – Т. 8, вып. 1. – С. 94-98.
17. Молекулярные механизмы биологического действия кофеина. Компьютерное моделирование конкуренции с аденозином за места связывания с рецепторами / А. С. Дерябина, Э. Родригес, Э. Гонсалес [и др.] // *Матем. биология и биоинформ.* – 2014. – Т. 9, вып. 2. – С. 373-385.

18. 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.
19. 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.
20. 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.

SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF MONOAMMONIUM SALT OF GLYCYRRHIZIC ACID (GLYCYRAM) WITH CAFFEINE

Yakovishin L. A.¹, Grishkovets V. I.², Korzh E. N.¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

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

E-mail: chemsevtu@rambler.ru

A new molecular complex of triterpene glycoside glycyram (monoammonium salt of glycyrrhizic acid, GC) with alkaloid caffeine (Caf) was prepared. GC is an anti-inflammatory and antiallergic drug. Caf is a known stimulant of the central nervous system.

The complexation of GC with Caf in aqueous solution at pH 7.2 (phosphate buffer $\text{Na}_2\text{HPO}_4\text{--NaH}_2\text{PO}_4$) was investigated by spectrophotometric method. It was shown that GC and Caf forms a 1:1 complex, having a stability constant $K_{\text{GC-Caf}} = 5.34 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1}$. Molecular complex of GC with Caf was studied by IR spectroscopy. GC was associated in complex by hydrogen bonds with the participation of OH and COOH groups ($\text{C}=\text{O}_{\text{Caf}} \cdots \text{H}-\text{O}_{\text{GC}}$ и $=\text{N}:\text{Caf} \cdots \text{H}-\text{O}_{\text{GC}}$) as well as hydrophobic interactions.

Keywords: triterpene glycosides, glycyrrhizic acid, glycyram, caffeine, supramolecular complex, spectrophotometry, IR spectroscopy, stability constant.

References

1. *Chemical Analysis of Medicinal Plants*, edited by N.I. Grinkevich and L.N. Safronich, 176 p. (Vysshaya Shkola, Moscow, 1983). (in Russ.).
2. Ashihara H., Sano H., Crozier A., Caffeine and related purine alkaloids: Biosynthesis, catabolism, function and genetic engineering, *Phytochemistry*, **69** (4), 841 (2008).
3. Hostettmann K., Marston A., Ndjoko K., Wolfender J.-L., The potential of African plants as a source of drugs, *Cur. Org. Chem.*, **4** (10), 973 (2000).
4. Mashkovskii M.D., *Drugs*, 2 vols., 13 ed., **1**, 560 p. (Torsing, Kharkov, 1997). (in Russ.).
5. Tavagnacco L., Engström O., Schnupf U., Saboungi M.L., Himmel M., Widmalm G., Cesàro A., Brady J.W., Caffeine and sugars interact in aqueous solutions: a simulation and NMR study, *J. Phys. Chem. B*, **116** (38), 11701 (2012).
6. Lilley T.H., Linsdell H., Maestre A., Association of caffeine in water and in aqueous solutions of sucrose, *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, **88** (19), 2865 (1992).
7. Mejri M., BenSouissi A., Aroulmoji V., Rogé B., Hydration and self-association of caffeine molecules in aqueous solution: comparative effects of sucrose and β -cyclodextrin, *Spectrochim. Acta A*, **73** (1), 6 (2009).
8. Terehova I. V., Lapshev P. V., Kulikov O. V., Thermodynamics of complexation of α -cyclodextrin with nucleic acid bases and their derivatives, *Koord. Khim.*, **29** (1), 78 (2003). (in Russ.).

9. 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).
10. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Schroeder G., Borisenko N.I., Molecular complexation of ivy saponins with some drugs and biologically active substances, in *Functionalized molecules – synthesis, properties and application*, edited by Rybachenko V.I., p. 85–103 (Schidnyj wydawnyczyj dim, Donetsk, 2010).
11. 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.).
12. Smagulova M.E., Beketov K.M., Faskhutdinov M.F. Study of complex formation between glycyram and biologically active ligands, *Khim. Zhurn. Kazakhstan*, **3**, 10 (2009). (in Russ.).
13. Babko A.K., *Physico-chemical analysis of complex compounds in the solutions*, 328 p. (Izd-vo AN USSR, Kiev, 1955). (in Russ.).
14. Yakovishin L. A., Korzh E. N., Degtyar A. D., Klimenko A. V., Spectrophotometry of the supramolecular complexes of ivy and licorice triterpene glycosides with laevomycetin (chloramphenicol), *Ukr. Bioorg. Acta*, **11** (1), 33 (2013). (in Ukr.).
15. 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.).
16. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Korzh E. N., Vetrova E. V., Borisenko N. I., Physico-chemical characteristic and biological activity of the supramolecular complex of glycyram with β -cyclodextrin, *Macroheterocycles*, **8** (1), 94 (2015). (in Russ.).
17. Deriabina A.S., Rodriguez E., Gonzalez E., Deryabin M.S., Herrera J.N., Sanchez C., Poltev V. I., Molecular mechanisms of caffeine biological effects. Computer simulation of competition with adenosine for binding sites of receptors, *Mat. Biolog. Bioinform.*, **9** (2), 373 (2014). (in Russ.).
18. 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 β -glycyrrhizic acid with nonsteroidal antiinflammatory drugs as novel transport forms, *Khim.-Farm. Zhurn.*, **25** (2), 29 (1991). (in Russ.).
19. 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).
20. Hu Y.-J., Liu Y., Wang J.-B., Xiao X.-H., Qu S.-S., Study of the interaction between monoammonium glycyrrhizinate and bovine serum albumin, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, **36** (4), 915 (2004).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 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
- Андреева
Оксана Андреевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры экологии и зоологии
- Аристова
Надежда Ивановна** Государственное бюджетное учреждение Республики Крым «ННИИВиВ “Магарач”», кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела аналитических исследований и инновационных технологий, e-mail: akademik_n@mail.ru
- 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
- Вахрушева
Людмила Павловна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
- Герасимчук
Владимир Николаевич** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», научный сотрудник лаборатории дендрологии, e-mail: gerasimchuk_vova@mail.ru
- Гордиенко
Андрей Иванович** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», ведущий научный сотрудник Центральной научно-исследовательской лаборатории, e-mail: uu4jeu@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
- Дягилева
Юлия Олеговна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии факультета психологии

Елкина Наталья Маратовна	Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, преподаватель подготовительных курсов, e-mail: nataleiolkina@gmail.com
Житовецкая Юлия Олеговна	Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 4 курса II Медицинского факультета
Загноенко Наталья Евгеньевна	Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», выпускница
Зайцев Георгий Павлович	Государственное бюджетное учреждение Республики Крым «ННИИВиВ “Магарач”», младший научный сотрудник отдела аналитических исследований и инновационных технологий, e-mail: gorg-83@mail.ru.
Иванов Сергей Петрович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», профессор кафедры экологии и зоологии
Ислямова Эвелина Юнусовна	СевГУ Институт ядерной энергии и промышленности, магистр
Казакова Вера Валентиновна	Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медицинской биологии
Каракурсакова Зарема Вельшаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры
Коба Владимир Петрович	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией дендрологии, e-mail: kobavp@mail.ru
Кобечинская Валентина Григорьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии, e-mail: valekohome@mail.ru

- Козлов
Алексей Юрьевич** ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина», кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории системных механизмов эмоционального стресса; ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Минздрава России, старший преподаватель кафедры нормальной физиологии и медицинской физики, e-mail: a.kozlov@nphys.ru
- Конарева
Ирина Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии
- Коношенко
Светлана
Владимировна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии
- Корж
Елена Николаевна** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»
- Котович
Анна Сергеевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 4-го курса кафедры общей психологии и психофизиологии факультета психологии
- Крохмаль
Ирина Игоревна** ГУ «Институт эволюционной экологии НАН Украины», доктор биологических наук, старший научный сотрудник отдела фитоэкологии
- Крутиков
Евгений Сергеевич** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой внутренних болезней
- Крылова
Ангелина Михайловна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры кафедры органической и биологической химии факультета биологии и химии, e-mail: gelya2404@yandex.ua
- Куличенко
Александр
Михайлович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший научный сотрудник центра коллективного пользования оборудованием «Экспериментальная физиологии и биофизика», e-mail: alexander.kulichenko@gmail.com

Лютослав Ирина Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр кафедры биохимии
Михайлова Анна Андреевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, ассистент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Миронов Олег Андреевич	ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии, e-mail: mironov87@gmail.com
Никитина Юлия Олеговна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики, факультета биологии и химии, e-mail: nikitinalula@mail.ru
Никольская Виктория Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии
Нурмамбетова Эльвира Диляверовна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Омельченко Александр Владимирович	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
Орехова Лилия Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант факультета психологии
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
Панов Денис Александрович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей и физической химии, e-mail: panovda@crimea.edu

- Папельбу Владимир Владимирович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»
- Перцов Сергей Сергеевич** ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П. К. Анохина», доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией системных механизмов эмоционального стресса; ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Минздрава России, заведующий кафедрой нормальной физиологии и медицинской физики, профессор, чл.-корр. РАН, e-mail: s.pertsov@nphys.ru
- Пидгайна Елена Сергеевна** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», младший научный сотрудник научного отдела Ботанического сада, e-mail: pidgainaja@mail.ru
- Плугатарь Юрий Владимирович** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», доктор сельскохозяйственных наук, чл.-корр. РАН, директор, заведующий отделом дендрологии, цветоводства и ландшафтной архитектуры
- Подопригора Владимир Николаевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и зоологии
- Рахлев Алексей Андреевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающийся 2 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики факультета биологии и химии; ГБУЗ РК «Феодосийский медицинский центр», Детская больница с детской поликлиникой, лаборант
- Решетник Галина Васильевна** 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: levina.galya.60@mail.ru
- Рогожин Евгений Александрович** ФГБУН «Институт биоорганической химии РАН им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова», кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории нейрорецепторов и нейрорегуляторов отдела молекулярной биологии, e-mail: rea21@list.ru

- Самойлов Александр Александрович** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», врач-ординатор. Детская хирургия, факультет последипломного образования
- 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
- Соловьева Ольга Викторовна** ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии, e-mail: kozl_ya_oly@mail.ru
- Тихонова Елена Андреевна** ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела морской санитарной гидробиологии, e-mail: tihonoval@mail.ru
- Ткачева Наталья Юрьевна** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат медицинских наук, доцент кафедры биохимии
- Туманянц Каринэ Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
- Фролова Галина Александровна** Донецкий национальный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных, e-mail: gal_alex_frolova@mail.ru
- Химич Наталья Владимировна** Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший научный сотрудник Центральной научно-исследовательской лаборатории, e-mail: natkhimich@mail.ru
- Хусаинов Денис Рашидович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: gangliu@yandex.ru
- Цикалова Виктория Николаевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии, e-mail: vika.tim@list.ru

- Чайка
Андрей Владимирович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: andrew.chajka@yandex.ru
- Шейхаметова
Нияра Ниятовна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 2 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики факультета биологии и химии; палатная медицинская сестра хирургического отделения ГБУЗ РК «Джанкойская центральная районная больница», e-mail: niyara_2591@bk.ru
- Юркова
Ирина Николаевна** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат технических наук, старший научный сотрудник научного отдела Ботанического сада, e-mail: nanosilver@rambler.ru
- Яковишин
Леонид Александрович** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия», e-mail: chemsevntu@rambler.ru
- 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

- Белалов В. В., Михайлова А. А., Житовецкая Ю. О., Самойлов А. А., Павленко В. Б.**
РЕАКТИВНОСТЬ ТЕТА-РИТМА ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ
ДЕТЬМИ РАННЕГО ВОЗРАСТА.....3
- Вахрушева Л. П., Нурмамбетова Э. Д.**
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ВОЗРАСТНЫХ СОСТОЯНИЙ
ДВУЛЕПЕСТНИКА ПАРИЖСКОГО (*CIRCAEA LUTETIANA* L.).....11
- Дягилева Ю. О., Котович А. С., Орехова Л. С., Михайлова А. А., Павленко В. Б.**
ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА С
РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПРИ ЗРИТЕЛЬНОМ
ВОСПРИЯТИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ СТИМУЛОВ21
- Кобечинская В. Г., Андреева О. А.**
СЕЗОННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СТЕПЕЙ РАВНИННОГО КРЫМА ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ПИРОГЕННОГО ФАКТОРА.....29
- Конарева И. Н.**
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ИЗУЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОЙ
ЛИЧНОСТИ: ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД44
- Коношенко С. В., Каракурсакова З. В., Елкина Н. М., Крутиков С. Н., Казакова В. В.,
Загноенко Н. Е.**
ПРОЦЕССЫ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АКТИВНОСТЬ
АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЭРИТРОЦИТАХ
ПРИ ЦИРРОЗЕ ПЕЧЕНИ57
- Крохмаль И. И.**
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПРОГНОЗ УСПЕШНОСТИ
ИНТРОДУКЦИИ ВИДОВ ТРАВЯНИСТЫХ МНОГОЛЕТНИКОВ
В СТЕПНУЮ ЗОНУ УКРАИНЫ63
- Куличенко А. М., Аликина М. А., Гордиенко А. И., Химич Н. В., Павленко В. Б.**
ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОГО КОРТИЗОЛА В СЛЮНЕ
И МОЩНОСТИ РИТМОВ ЭЭГ В СОСТОЯНИИ СПОКОЙНОГО
БОДРСТВОВАНИЯ.....82
- Никольская В. А., Лютослав И. С.**
ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ МОЛЕКУЛ СРЕДНЕЙ МАССЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И
ГОМОГЕНАТЕ НЕРВНОЙ ТКАНИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИПЕРИНСУЛИНЕМИИ.....97
- Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Герасимчук В. Н., Папельбу В. В.**
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛИСТВЕННЫХ
НАСАЖДЕНИЙ ПРИМОРСКОГО ПАРКА НИКИТСКОГО
БОТАНИЧЕСКОГО САДА105
- Плугатарь Ю. В., Коба В. П., Папельбу В. В., Герасимчук В. Н.**
БИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВИДОВ РОДА *CEDRUS* TREW АРБОРЕТУМА
НИКИТСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА.....114

Решетник Г. В. ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА ЭПИН-ЭКСТРА НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЫ КУКУРУЗЫ НА ФОНЕ ДЕЙСТВИЯ СУЛЬФАТА МЕДИ.....	122
Соболев В. И. ОСОБЕННОСТИ ТИРЕОИДНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ ЭУТИРЕОИДНОЙ ЗОНЫ.....	131
Соловьева О. В., Тихонова Е. А., Миронов О. А. СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА.....	147
Ткачева Н. Ю., Ислямова Э. Ю., Подопригора В. Н. ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «ГОНАЛ-Ф» НА РЕПРОДУКТИВНУЮ СИСТЕМУ ЛЯГУШКИ ОЗЕРНОЙ (<i>PELOPHYLAX RIDIBUNDUS</i>) И КАРАСЯ СЕРЕБРЯНОГО (<i>CARASSIUS GIBELIO</i>).....	156
Фролова Г. А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ДВУХНЕДЕЛЬНОЙ АЛКОГОЛИЗАЦИЕЙ, У САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ.....	168
Чайка А. В., Шейхаметова Н. Н., Никитина Ю. О., Рахлев А. А., Хусаинов Д. Р., Туманянц К. Н. ВЛИЯНИЕ УМЕРЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И МЕЖВИДОВУЮ АГРЕССИЮ У КРЫС	183
Чайка А. В., Шейхаметова Н. Н., Никитина Ю. О., Рахлев А. А., Хусаинов Д. Р., Туманянц К. Н. ВОЗДЕЙСТВИЕ УМЕРЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА МЕЖСАМЦОВУЮ АГРЕССИЮ У КРЫС В ТЕСТЕ «РЕЗИДЕНТ – ИНТРУДЕР»	192
Черетаев И. В., Чайка А. В., Перцов С. С., Козлов А. Ю., Рогожин Е. А. ВЛИЯНИЕ НИЗКО- И СРЕДНЕМОЛЕКУЛЯРНЫХ БЕЛКОВО-ПЕПТИДНЫХ ФРАКЦИЙ ЭКСТРАКТОВ СЕМЯН <i>CHENOPodium ALBUM</i> L. НА КОМПОНЕНТЫ БОЛИ У КРЫС.....	204
Юркова И. Н., Омельченко А. В., Пидгайная Е. С. НАНОСЕЛЕН КАК ИНДУКТОР СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ.....	215
Ярыш В. Л. МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ОЛЕНЬИХ (<i>CERVIDAE</i>) В ГОРНОМ КРЫМУ	223
Ярыш В. Л., Иванов С. П. ФЕНОМЕН ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ КОПЫТНЫХ В КАРАДАГСКОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ В КРЫМУ. СООБЩЕНИЕ I. УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ УЧЕТОВ ЧИСЛЕННОСТИ.....	232

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Аристова Н. И., Зайцев Г. П., Панов Д. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ
ВИН ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ.....249

Крылова А. М., Цикалова В. Н.

ПРИМЕНЕНИЕ *N*-АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-*L*-АЛАНИЛ-*D*-ИЗОГЛУТАМИНА И ЕГО
ПРОИЗВОДНЫХ В КАЧЕСТВЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРОВ.....257

Яковичин Л. А., Гришкова В. И., Корж Е. Н.

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС МОНОАММОНИЙНОЙ СОЛИ
ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ (ГЛИЦИРАМА) С КОФЕИНОМ270

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....278

СОДЕРЖАНИЕ285