

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

Научный журнал

Том 4 (70), № 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, 2018**

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

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского, протокол № 1 от 5 марта 2018 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, отрасль науки 03.02.00 – общая биология, 03.03.00 – физиология,
02.00.00 – химические науки, дата включения – 12.07.2017, а также в систему «Российский индекс
научного цитирования» (РИНЦ)

Редакционная коллегия журнала «Ученые записки Крымского федерального
университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»:

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

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

Технический редактор – Ярмолук Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Колесников Сергей Ильич, д. с-х. н., проф.
4. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
5. Кореньюк Иван Иванович, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Лебедева Наталья Николаевна, д. б. н., проф.
8. Новоселов Владимир Иванович, д. б. н., проф.
9. Павленко Владимир Борисович, д. б. н., проф. (редактор раздела «Биология»)
10. Перов Сергей Юрьевич, д. б. н., в. н. с.
11. Плуатарь Юрий Владимирович, д. б. н., член-корр. РАН
12. Рубцова Нина Борисовна, д. б. н., проф.
13. Рябинина Зинаида Николаевна, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., проф.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кукушкин Вадим Юрьевич, член-корр. РАН
19. Новоторцев Владимир Михайлович, академик РАН
20. Панюшкин Виктор Терентьевич, д. х. н., проф.
21. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.

Подписано в печать 7.03.2018. Формат 70x100 1/16.

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

Дата выхода в свет « » 2018 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности

ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес редакции, издательства и типографии:

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

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

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 4 (70). 2018. № 3. С. 3–14.

УДК 4777.75

КРЫМСКАЯ ШКОЛА МАГНИТОБИОЛОГИИ

Чуян Е. Н.

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

Представлены сведения о магнитобиологических исследованиях, проводимых на кафедре физиологии человека и животных и биофизики Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского за последние 50 лет. Эти исследования касаются изучения биологического действия низкоинтенсивных электромагнитных полей сверхнизких и сверхвысоких частот, биоритмики.

Ключевые слова: низкоинтенсивные электромагнитные поля сверхнизких и сверхвысоких частот, биоритмика, кафедра физиологии человека и животных и биофизики.



В рамках проведения мероприятий к 100-летию Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского 14.09.18 г. открыта мемориальная доска «Ученые университета, внесшие значительный вклад в развитие Крымской школы магнитобиологии»:



- Сидякин Вячеслав Григорьевич (08.03.1936 г. – 25.10.2005 г.) – доктор биологических наук, профессор, выдающийся ученый-нейрофизиолог, член-

корреспондент академии педагогических наук Украины, академик Международной академии педагогических и социальных наук, академик Международной академии информатизации, академик Академии компьютерных наук и систем Украины. Направление научных исследований – космическая экология. Работал в университете в период 1962–2005 гг.

- Сташков Александр Михайлович (13. 09. 1924 г. – 01. 07. 2014 г.) – доктор биологических наук, профессор, выдающийся ученый физиолог и биофизик. Направление научных исследований – радиобиология, магнитобиология, влияние ионизирующих излучений на биологические объекты, радиопротекторное действие электромагнитных полей. Работал в университете в период 1973–2002 гг.
- Темурьянц Наталья Арменаковна (31. 10. 1944 г. – 17. 10. 2017 г.) – доктор биологических наук, профессор, выдающийся ученый-биофизик, основатель Крымской школы магнитобиологии, Заслуженный работник образования Автономной Республики Крым, действительный член Европейского и Американского биоэлектромагнитных обществ, лауреат Государственной премии Республики Крым в области научной и научно-технической деятельности, действительный член Крымской Академии наук. Направление научных исследований – гелиобиология. Работала в университете в период 1971–2017 гг.

Именно эти ученые, сотрудники университета стояли у истоков магнитобиологических исследований. А начиналось все в далекие 60-е годы XX века.

В 60-х годах XX в. в Крыму работали научно-исследовательские учреждения, в которых изучалась взаимосвязь космических и земных процессов. В Симферопольском государственном университете имени М. В. Фрунзе (ныне КФУ имени В. И. Вернадского), Крымском медицинском институте (ныне КФУ имени В. И. Вернадского), в Крымской астрофизической обсерватории, в НИИ физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации им. И. М. Сеченова (Ялта) занимались изучением влияния различных факторов, в том числе зависящих от Солнечной активности, на человека и животных. Именно в Крыму впервые были сформулированы предположения о природе факторов, ответственных за солнечно-земные связи.

Сотрудник КраО кандидат физ.-мат. наук Б. М. Владимирский впервые предположил, что таким фактором может быть переменное магнитное поле (ПеМП) сверхнизких частот (СНЧ), интенсивность которого наиболее высока по сравнению с интенсивностью поля других частотных полос как в спокойные периоды, так и особенно во время геомагнитных возмущений, когда его интенсивность может возрастать в 10–100 раз, чего не наблюдается в других частотных диапазонах.

Для доказательства предположения Б. М. Владимирского нужно было исследовать биологическое действие ПеМП очень малой интенсивности, не вызывающих тепловых эффектов. Сама возможность биологического действия полей такой интенсивности считалось совершенно невозможной, так как не существовало разумного объяснения их активности. Поэтому перед

исследователями стояли и очень сложные задачи, решение которых требовало тщательного отбора методов и объектов исследований, разработки дублирующих контрольных экспериментов, проверки воспроизводимости результатов исследования и т.д.



Б. М. Владимирский выступает с докладом на научном семинаре

Такие исследования на первом этапе были проведены под руководством профессора А. М. Волынского в Крымском медицинском институте.

Уже первые результаты были обнадеживающие: были выявлены изменения функциональной активности нейтрофилов крови кроликов и собак под влиянием слабых ПемП СНЧ (Н. А. Темуриянц), перестройки деятельности сердечно-сосудистой системы животных (А. Я. Чегодарь, В. Артищенко), обнаружено их влияние на бактерии (К. Д. Пяткин, Ю. Н. Ачкасова).

Первые результаты этих исследований (А. М. Волынский, Б. М. Владимирский, Н. А. Темуриянц, Ю. Н. Ачкасова) были опубликованы в коллективной монографии «Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли» М: Наука, 1968, а также были доложены в 1969 г. на I-ом Всесоюзном симпозиуме «Солнце – биосфера» в г. Вильнюсе, где получили высокую оценку акад. В. В. Парина занимавшегося разработкой вопросов космической физиологии, проф. В. А. Троицкой признанного лидера изучения физики солнечно-земных связей.

В 1970 годы центр исследования переместился на кафедру физиологии человека и животных Симферопольского государственного университета им. М. В. Фрунзе, куда перешла работать Н. А. Темуриянц.

В целом исследования проводились по нескольким направлениям, связанным с изучением механизмов биологического действия слабых переменных магнитных полей сверхнизкой частоты (ПемП СНЧ).



**Сотрудники кафедры физиологии человека и животных и биофизики
(1975 – 1978 гг.)**

Под руководством доцентов В. Г. Сидякина и Н. А. Темурьянц разрабатывались фундаментальные вопросы по теме «Реакции нервной системы человека и животных на воздействие сверхнизкочастотных электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения». В 1976 году на кафедре была открыта лаборатория физиологии высшей нервной деятельности, в которой изучали изменения условнорефлекторной деятельности животных (в основном лабораторных крыс) при воздействии естественных и искусственных магнитных полей.



Проведение экспериментальных исследований под руководством доцента Сидякина В. Г. (1980 г)



Исследование влияния ПемП на ЭЭГ человека проводит аспирант Марченко С. М.

Исключительный интерес представляют данные, полученные нейрофизиологами В. Г. Сидякиным, А. М. Сташковым и его сотрудниками, которые сначала обнаружили нарушение условно-рефлекторной деятельности у лабораторных животных, а затем целенаправленными экспериментами воспроизвели этот эффект, действуя ПемП на «резонансных» частотах 5 и 8 Гц. Оказалось, что наиболее чувствительны к действию поля – голуби, чем крысы, а ПемП частотой 8 Гц была более эффективна, чем ПемП частотой 5 Гц. Эти

результаты, явились, прямым доказательство того, что вариации электромагнитного фона СНЧ следует рассматривать как психотропный фактор.

В исследованиях под руководством проф. А. М. Сташкова было обнаружено радиопротекторное действие ПемП СНЧ.

В 1975 году Иван Иванович Коренюк организовал первую в Крыму лабораторию по исследованию электрической активности нейронов, которую возглавляет и в настоящее время.



Исследование нейронной активности у кошек проводят доцент Коренюк И. И., аспирант Орлова Т. В., студент Когачев В. (1985 г.)

Важное значение для доказательства биологической активности столь слабых раздражителей как ПемП СНЧ имели исследования на систему крови, которые проводились под руководством Н. А. Темуриянц. Ею же была доказана способность ПемП СНЧ лимитировать развитие стресс-реакции на ограничение подвижности.

Важными событиями для коллектива кафедры и развития магнитобиологических исследований ознаменовались 1989 и 1990 годы, когда успешно прошла защита докторских диссертаций доцентами В. Г. Сидякиным, Н. А. Темуриянц, И. И. Коренюком.

С 1991 по 2005 год кафедрой руководил доктор биологических наук, академик АПН Украины, профессор В. Г. Сидякин. В это время были открыты 2 новые лаборатории.

Это лаборатория психонейрофизиологии под руководством В. Г. Сидякина. В начале 90-х годов механизмы воздействия низкочастотных магнитных полей изучались сразу на нескольких уровнях: от отдельных нейронов головного мозга бодрствующих животных (главным образом кошек) до элементов поведения (крыс). В лаборатории были разработаны новые, мирового уровня методики анализа нейрофизиологических механизмов поведения, созданы уникальные компьютерные программы и оборудование, позволяющие изучать биопотенциалы головного мозга животных и человека в процессе выполнения ими сложных поведенческих задач. Лаборатория стала одной из немногих в Советском Союзе и единственной в Крыму, способной в хронических опытах регистрировать и анализировать активность

одиночных нейронов коры и подкорковых структур мозга бодрствующих свободноподвижных животных, а также изменения ЭЭГ, сопровождающие целенаправленную деятельность человека.



Сотрудники лаборатории психонейрофизиологии (1990 г.)
Примечания: Слева направо 1 ряд: Чемоданова Е. В., Орлова Т. В.,
Кириллова А. В.;
2 ряд: Доровлев И. С., Шумилина К. В, Павленко В. Б., Куличенко А. М.,
Янова Н. П., Сидякин В. Г.

Второй лабораторией, организованной в 1990 г. стала лаборатория электромагнитной физиологии и биофизики, руководителем которой становится доктор биологических наук, профессор Темурьянц Наталья Арменаковна, в которой изучается комплекс фундаментальных вопросов по теме «Механизмы адаптации животного организма к действию неионизирующих излучений».



Лаборатория электромагнитной физиологии и биофизики (1990 г.)
На фото во главе стола: Темурьянц Н. А., аспиранты Малыгина Н. А.,
Грабовская Е. Ю., Евстафьева Е. В. (на переднем плане) и студенты –
специализанты кафедры.

Начиная с конца 80-х гг. начали активно проводиться исследования по изучению биологической эффективности низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ (Чуян Е. Н.). Эти исследования проводились совместно с Институтом радиоэлектроники АН СССР, с медико-биологической ассоциацией МТА-КВЧ (Москва). Полученные нашими учеными результаты не оставляли сомнений в биологической активности низкоинтенсивных ЭМП: впервые показано, что воздействие ЭМИ КВЧ на интактный организм способно предотвратить возникновение негативных изменений, возникающих у животных при последующем действии стресс-факторов (ограничение подвижности, болевой стресс, инфицирование).



**Исследования влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на систему крови (2002 г.) в лаборатории электромагнитной физиологии и биофизики
На фото проф. Н. А. Темурьянц, доц. Е. Н. Чуян, асп. Махонина М. М.**

В настоящее время основные направления научных исследований кафедры:

- эффекты низкочастотных переменных магнитных полей (ПемП СНЧ);
- активность низкоинтенсивных электромагнитных излучений крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ);
- эффекты экранирования;
- биоритмология. Ритмика в социальных системах;
- влияние космической погоды (геомагнитных возмущений) на физико-химические и биологические системы различной степени сложности.

Авторитет исследований в области магнитобиологии, проводимых в Крыму признан мировым научным сообществом. Свидетельством тому являются публикации в престижных изданиях, имеющих высокий Impact Index, монографии, награжденные престижными премиями, Европейского фонда имени Бенгвинента, патенты на изобретения Украины и России, 5 докторских и 52 кандидатских диссертаций, защищенных по проблемам магнитобиологии, участие в Международных проектах (Copenicus), гранты на исследования (Соровские гранты,

МОНУ, Минобнауки РФ, РФФИ), заказы на хоздоговорные исследования, многочисленные конференции и симпозиумы при участии крымских ученых.



Монографии, посвященные исследованиям в области магнитобиологии

Сотрудники кафедры являются членами многих международных научных обществ (Европейское и Американское биоэлектромагнитные общества, Международное биометеорологическое общество, Международный союз по исследованию малоизученных факторов среды, физиологическое и биофизическое общества России и Украины и др.).

Кафедра физиологии человека и животных имеет тесные научные контакты с многочисленными научно-исследовательскими институтами: Институтом космических исследований РАН, Институтом земного магнетизма и распространением радиоволн РАН, Институтом биофизики РАН, Институтом физиологии им. А. А. Богомольца НАНУ, Киевским национальным университетом им. Т. Г. Шевченко, Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургским университетом, Институтом нейрофизиологии и высшей нервной деятельности РАН, медико-технической ассоциацией МТА-КВЧ (Москва) т.д.

С 1995 г. в Крыму регулярно проводятся международные конференции «Космос и биосфера», в работе которых принимают участие не только ученые России, но и Украины, Белоруссии, Италии, США и т.д.

Учитывая актуальность и важность проводимых при участии кафедры исследований международный фонд имени Ж. Бенвениста учредил специальные премии участникам конференций, представивших на обсуждение наиболее интересные сообщения.

В настоящее время исследования электромагнитных воздействий ведутся на новом методическом уровне.



Участники конференции «Космос и биосфера» в разные годы

В рамках реализации Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» созданы лаборатории, оснащенные современным оборудованием:

- лаборатория визуализированного пэтч-клампа;
- лаборатория этологии;
- лаборатория психофизиологии;
- лаборатория клеточной физиологии и биофизики;
- лаборатория физиологии и биохимии крови;
- лаборатория оценки функционального состояния человека;
- лаборатория изучения боли.

В 2017 г. путем объединения научно-исследовательских и научно-образовательных лабораторий кафедры физиологии человека и животных и биофизики (во исполнение решения Ученого Совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» от 19 апреля 2017 г., протокол № 4) создан Центр коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика»



**Лаборатория
визуализированного
пЭТЧ-клампа**



Лаборатория этиологии



**Лаборатория
психофизиологии**



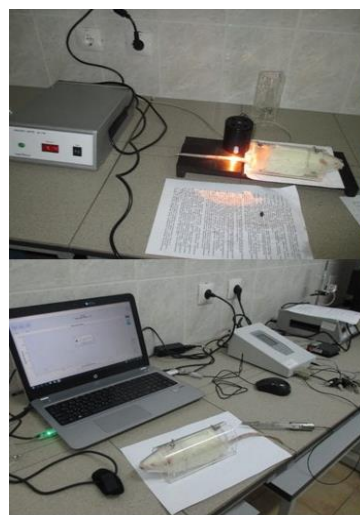
**Лаборатория клеточной физиологии и
биофизики**



**Лаборатория физиологии и биохимии
крови**



**Лаборатория оценки функционального
состояния человека**



Лаборатория боли

Научная школа магнитобиологии была зарегистрирована решением Ученого совета ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» от 14 декабря 2015 г., протокол № 18.



Книга «Сто лет служения науке: Научные школы Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского»

Сегодня мы отдаем дань тем исследователям, которые заложили фундамент, Крымской школы магнитобиологии, подготовили многочисленных последователей, учеников, но которых, к сожалению, уже нет с нами.

Список литературы

1. Темурьянц Н. А. Крымская школа магнитобиологии / Н. А. Темурьянц // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2011. – Т. 24, № 2 (63). – С. 22–29.
2. Чуян Е. Н. История кафедры физиологии человека и животных и биофизики / Е. Н. Чуян // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2011. – Т. 24, № 2 (63). – С. 3–21.
3. Сто лет служения науке: научные школы Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского / авт.-сост. А. П. Фалалеев, Е. Н. Чуян, А. А. Непомнящий и др. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017 г. – 552 с. (77–104)

MORPHOFUNCTIONAL GROUPS OF PHYTOPLANKTON OF THE KAZAN BAY

Chuyan E. N.

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

Provides information about magnetobiological studies conducted at the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics of V. I. Vernadsky Crimean Federal

University in the last 50 years. These studies relate to the study of biological effects of low-intensity electromagnetic fields and very low microwave frequencies and biorhythm.

Keywords: low-intensity electromagnetic fields and very low microwave frequencies, biorhythm, Department of Human and Animal Physiology and Biophysics.

References

1. Temur'yants N. A. Crimean school of magnetobiology, *Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta imeni V. I. Vernadsky. Series: Biology, Chemistry*, **24, 2 (63)**, 22 (2011)
2. Chuyan E. N. History of the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics, *Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta imeni V. I. Vernadsky. Series: Biology, Chemistry*, **24, 2 (63)**, 3 (2011).
3. Falaleev A.P., Chuyan E. N., Nepomnyashchiy A. A. and others, *One hundred years of service to science: scientific schools of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky*, 552 p. (Simferopol: IT "ARIAL", 2017).

УДК 574.583

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ ФИТОПЛАНКТОНА КАЗАНСКОГО ЗАЛИВА

Абрамова К. И., Токинова Р. П.

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,
Казань, Россия
E-mail: kseniaiv@yandex.ru*

В статье приводятся данные о составе доминирующих видов фитопланктона Казанского залива Куйбышевского водохранилища в 2017 г., сезонной сукцессии основных ассоциаций альгофлоры с использованием функциональной (FG) и морфологической (MBFG) классификаций пресноводных планктонных водорослей. Согласно наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон залива представлен 10 функциональными группами, среди которых преобладают семь (B, D, H1, Lo, S1, X3, Y), и 4 морфологическими группами (II, III, V, VI). В период с мая по октябрь сообщество фитопланктона представлено группами видов, преимущественно свойственных мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с низкой прозрачностью (мутной водой), устойчивых к перемешиванию толщи воды.

Ключевые слова: фитопланктон, морфофункциональные группы, Казанский залив.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время зарубежными исследователями разработаны две классификации таксонов фитопланктона. Первая основана на функциональных признаках (FG) [1, 2]; вторая – на морфологических (MBFG) [3, 4]. Обе классификации представляют собой важный инструмент для мониторинга и управления водными экосистемами [5], изучения влияния экологических условий на альгофлору [6]. Модель, основанная на морфологических признаках, может быть использована в качестве дополнения к функциональной модели [7]. Использование морфофункциональной классификации значительно упрощает изучение сезонных изменений фитопланктона [8–10], позволяет получить дополнительную информацию о функционировании экосистемы в целом [2].

Фитопланктон Казанского залива Куйбышевского водохранилища исследовался ранее [11–14], выделение морфофункциональных групп фитопланктона залива проведено нами впервые. Задача данной работы – выявить морфофункциональные группы фитопланктона Казанского залива и закономерности их распределения в сезонной динамике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи проанализированы таксономический состав, численность и биомасса фитопланктона Казанского залива – устьевого участка

р. Казанки, расположенного в черте г. Казани и находящегося в зоне подпора Куйбышевского водохранилища. Пробы отобраны с поверхностного горизонта ежемесячно, с апреля по октябрь 2017 г., на восьми станциях (ст. 1 – в районе ул. Гаврилова, ст. 2 – озеровидное расширение реки выше 3-й транспортной дамбы, ст. 3 – в районе 3-й транспортной дамбы, ст. 4 – в районе моста Миллениум, ст. 5 и 6 – между мостом Миллениум и дамбой Ленинского моста (русовая и правобережная часть), ст. 7 и 8 – между дамбами Ленинского и Кировского мостов (русовая и правобережная часть) (рис. 1). В данной работе результаты, полученные на ст. 5 и 6, усреднены и обозначены как ст. 5–6, на ст. 7 и 8 – как ст. 7–8.

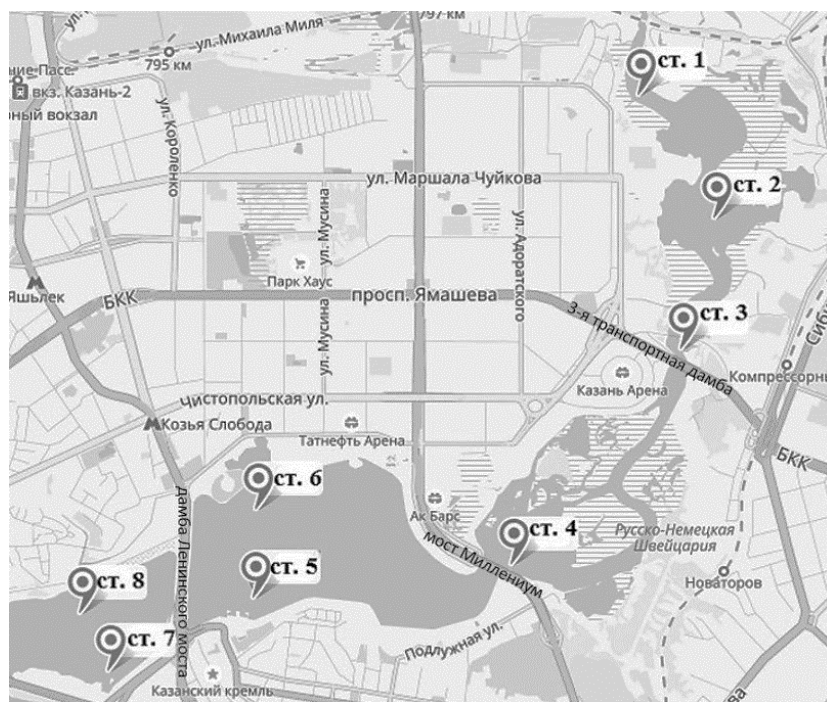


Рис. 1. Схема расположений станций отбора проб в Казанском заливе в 2017 г.

Сбор и обработка проб проведена по общепринятым гидробиологическим методикам [15, 16]. Пробы, зафиксированные раствором Люголя, концентрированы фильтрацией через мембранные фильтры марки «Владипор» №10 (с диаметром пор около 1 мкм) с применением вакуумного насоса. Подсчет и измерение водорослей проведены в камере Горяева (объем 0.9 мкл) в трех повторностях, биомасса определена счетно-объемным методом [15]. При определении видового состава фитопланктона изготовлены постоянные препараты с применением глицерин-желатина, смолы Naphrax; использованы определители серий «Определитель пресноводных водорослей СССР» (1951–1982 гг.) и «Süßwasserflora von Mitteleuropa» (1983–2005 гг.), а также «Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР» [17] и др. К доминирующим отнесены виды,

численность или биомасса которых составила не менее 10 % от общей. Вид отнесен к ведущему, если степень его доминирования варьировала в диапазоне 11–40 %, а степень встречаемости составляла 40–70 % [18]. Функциональные группы фитопланктона выделены по [1, 2], морфологические – по [3, 4]. Гидрохимические данные, использованные в исследовании, предоставлены сотрудниками лаборатории эколого-аналитических измерений и мониторинга окружающей среды ИПЭН АН РТ. Достоверность данных определена статистическими методами в компьютерной программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений в составе фитопланктона Казанского залива обнаружено 209 таксонов рангом ниже рода. По видовому богатству выделялись отделы Chlorophyta (34 % от общего видового разнообразия) и Bacillariophyta (29 %); менее разнообразны Cyanophyta (16 %); Chrysophyta, Cryptophyta и Euglenophyta (6 %); Dinophyta и Xantophyta (менее 2 %).

В период исследований по средней относительной численности в апреле преобладали золотистые (Chrysophyta) и диатомовые (Bacillariophyta), с апреля по июнь – диатомовые, с июля по октябрь – синезеленые (Cyanophyta); по биомассе с апреля по июнь и в октябре доминировали диатомовые, с июля по сентябрь – синезеленые. Расцвет криптофитовых (Cryptophyta) отмечен в июле, динофитовых (Dinophyta) – в августе.

Комплекс доминирующих видов представлен 18 таксонами, из которых 6 – представители диатомовых (*Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cleve & Möller, *Stephanodiscus huntzschii* Grun., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr.); 4 – золотистых (*Chromulina parvula* Conrad, *Chromulina tenera* Skuja, *Chromulina rosanoffii* (Woron.) Büts., *Dinobryon divergens* Imhof); по 3 таксона представлены синезеленые (*Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et. Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb.) и криптофитовые (*Chroomonas acuta* Uterm., *Cryptomonas erosa* Ehr., *Cryptomonas ovata* Ehr.); по 1 – динофитовые (*Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh) и зеленые (*Chlamydomonas proboscigera* Korsch.).

Согласно функциональной классификации (FG) пресноводного фитопланктона и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов (*P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*, *S. ulna*, *Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*), сообщество фитопланктона Казанского залива можно отнести к В, D, S1, H1, X3 (по численности) или D, S1, Lo, Y (по биомассе) (табл. 1). Группу В представляют виды, живущие в мезотрофных водоемах, предпочитающие мелководные зоны, чувствительные к изменению содержания кремния в воде и к сезонной стратификации; группу D – виды, в основном встречающиеся в мелководных зонах, устойчивые к низким условиям освещения (обитают в мутных водоемах), к перемешиванию; группу S1 – виды, толерантные к дефициту света (в основном мутные воды), предпочитающие мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы; группу H1 – эвтрофные виды, толерантные к низкому содержанию азота, устойчивые к перемешиванию,

предпочитающие мелководье; X3 – олиготрофные виды; Y – виды, для которых характерен широкий диапазон местообитаний, где низок пресс выедания, и которые предпочитают мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы с низкой прозрачностью; L₀ – виды, предпочитающие мелководные эвтрофные и высокоэвтрофные водоемы.

Таблица 1
Средняя относительная численность (над чертой) и биомасса (под чертой)
доминирующих видов по станциям в сезонной динамике, %

	Таксон	FG	MB FG	ст.1	ст.2	ст.3	ст.4	ст. 5–6	ст. 7–8
апр.	<i>Chr. parvula</i>	X3	II	<u>3.0</u> 0.1	–	<u>10.6</u> 0.6	<u>9.0</u> 0.5	<u>7.8</u> 0.2	<u>11.6</u> 0.2
	<i>Chr. tenera</i>	X3	II	<u>4.8</u> 0.2	–	<u>13.5</u> 1.3	<u>27.0</u> 2.8	<u>3.3</u> 0.1	<u>16.3</u> 0.6
	<i>Chr. rosanoffii</i>	X3	II	<u>4.2</u> 0.6	–	<u>19.5</u> 8.1	<u>13.5</u> 6.1	<u>5.2</u> 0.9	<u>13.9</u> 2.0
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	<u>7.7</u> 1.8	–	<u>14.9</u> 9.7	<u>10.5</u> 7.4	<u>42.5</u> 11.5	<u>7.0</u> 1.6
	<i>N. palea</i>	MP	VI	<u>34.5</u> 8.4	–	<u>2.8</u> 1.9	<u>2.0</u> 1.5	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
май	<i>Chroom. acuta</i>	X2	V	<u>2.1</u> 1.6	<u>1.3</u> 1.2	<u>9.4</u> 7.6	<u>5.4</u> 3.7	<u>7.1</u> 2.3	<u>4.3</u> 2.2
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	<u>2.5</u> 10.2	<u>2.2</u> 11.4	<u>1.9</u> 8.4	<u>2.6</u> 9.4	<u>3.0</u> 7.5	<u>3.9</u> 10.2
	<i>C. comta</i>	B	VI	<u>12.6</u> 16.7	<u>12.0</u> 20.1	<u>9.2</u> 13.0	<u>8.9</u> 10.6	<u>8.0</u> 6.4	<u>5.5</u> 4.7
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	<u>3.3</u> 13.4	<u>6.8</u> 34.7	<u>6.5</u> 28.5	<u>13.4</u> 48.6	<u>21.5</u> 53.1	<u>23.2</u> 60.5
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	<u>59.6</u> 7.7	<u>66.1</u> 10.7	<u>42.7</u> 5.9	<u>51.3</u> 5.9	<u>38.6</u> 4.3	<u>43.8</u> 3.6
июнь	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>9.1</u> 0.3	<u>6.5</u> 0.2	<u>13.4</u> 0.5	<u>7.4</u> 0.3	<u>8.7</u> 0.2	<u>7.6</u> 0.3
	<i>D. divergens</i>	E	II	<u>0.2</u> 0.1	<u>1.3</u> 0.4	<u>4.1</u> 1.3	<u>25.5</u> 7.7	<u>6.1</u> 1.4	<u>7.2</u> 2.3
	<i>Cr. erosa,</i> <i>Cr. ovata</i>	Y	V	<u>0.1</u> 0.8	<u>0</u> 0	<u>0.5</u> 3.7	<u>4.4</u> 28.7	<u>11.6</u> 55.7	<u>1.6</u> 11.5
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	<u>35.0</u> 70.6	<u>29.1</u> 64.8	<u>28.6</u> 61.1	<u>17.3</u> 34.5	<u>13.0</u> 19.2	<u>19.2</u> 41.2
	<i>St. minutulus</i>	B	VI	<u>13.2</u> 0.8	<u>10.3</u> 0.7	<u>5.2</u> 0.4	<u>7.0</u> 0.4	<u>3.2</u> 0.2	<u>4.3</u> 0.3

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ ФИТОПЛАНКТОНА ...

Продолжение таблицы 1

	Таксон	FG	MBFG	ст.1	ст.2	ст.3	ст.4	ст. 5–6	ст. 7–8
июль	<i>Aph. flos-aquae</i>	H1	III	<u>20.1</u> 4.4	<u>29.9</u> 9.5	<u>73.0</u> 50.7	<u>79.7</u> 80.6	<u>65.8</u> 57.2	<u>53.0</u> 41.3
	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>13.7</u> 0.8	<u>22.3</u> 1.8	<u>19.4</u> 3.5	<u>17.3</u> 4.5	<u>29.4</u> 6.5	<u>35.3</u> 7.0
	<i>Chroom. acuta</i>	X2	V	<u>20.4</u> 12.4	<u>9.8</u> 8.6	<u>1.2</u> 2.3	<u>0.1</u> 0.3	<u>0.1</u> 0.3	<u>1.1</u> 2.1
	<i>Cr. erosa</i> , <i>Cr. ovata</i>	Y	V	<u>4.6</u> 49.3	<u>1.9</u> 29.6	<u>0.8</u> 26.5	<u>0.1</u> 4.4	<u>0.5</u> 22.1	<u>0.8</u> 29.2
	<i>Ch. proboscigera</i>	X2	V	<u>7.0</u> 12.3	<u>9.7</u> 24.7	<u>0.2</u> 1.2	<u>0</u> 0	<u>0.1</u> 0.9	<u>0.1</u> 0.5
авг.	<i>An. flos-aquae</i>	H1	III	<u>0.2</u> 0.3	<u>0</u> 0	<u>1.9</u> 2.7	<u>3.0</u> 1.0	<u>8.1</u> 6.6	<u>8.1</u> 6.9
	<i>Aph. flos-aquae</i>	H1	III	<u>3.1</u> 4.9	<u>3.9</u> 5.9	<u>7.2</u> 13.0	<u>14.0</u> 6.0	<u>3.9</u> 3.7	<u>6.3</u> 8.2
	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>81.1</u> 32.6	<u>82.8</u> 32.3	<u>82.7</u> 38.8	<u>68.3</u> 7.6	<u>79.5</u> 25.2	<u>76.5</u> 31.5
	<i>Cer. hirundinella</i>	Lo	V	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0.6</u> 74.2	<u>0.2</u> 35.6	<u>0.1</u> 24.5
сент.	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>64.3</u> 18.2	<u>82.4</u> 34.4	<u>75.0</u> 23.1	<u>85.2</u> 36.9	<u>94.1</u> 49.3	<u>96.1</u> 48.1
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	<u>1.1</u> 14.3	<u>1.3</u> 27.6	<u>1.0</u> 14.2	<u>0.1</u> 1.5	<u>0.1</u> 0.3	<u>0</u> 0
	<i>Cer. hirundinella</i>	Lo	V	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0.02</u> 7.2	<u>0.1</u> 33.7
окт.	<i>P. agardhii</i>	S1	III	<u>20.8</u> 2.4	<u>7.0</u> 0.8	<u>0</u> 0	<u>62.2</u> 8.0	<u>76.9</u> 18.6	<u>86.5</u> 26.6
	<i>C. meneghiniana</i>	B	VI	<u>1.5</u> 7.7	<u>4.2</u> 21.1	<u>7.8</u> 23.1	<u>0.7</u> 4.1	<u>0.4</u> 4.9	<u>0.2</u> 3.5
	<i>St. huntzschii</i>	D	VI	<u>4.7</u> 10.3	<u>6.3</u> 10.6	<u>9.1</u> 11.0	<u>6.2</u> 15.4	<u>0.6</u> 2.3	<u>0.1</u> 0.2
	<i>S. ulna</i>	D	VI	<u>3.3</u> 13.8	<u>3.9</u> 13.2	<u>7.4</u> 17.4	<u>5.9</u> 28.0	<u>4.3</u> 35.0	<u>1.8</u> 20.3

Примечание: FG – функциональная группа, MBFG – морфологическая группа, апр. – апрель, авг. – август, сент. – сентябрь, окт. – октябрь.

Согласно морфологической классификации (MBFG) пресноводного фитопланктона и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон по численности представлен II, III и VI группами (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), по биомассе – III, V и VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*,

P. agardhii, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*). Группу II представляют организмы небольших размеров (золотистые); III – нитчатые формы (синезеленые), устойчивые к низким условиям освещения, высоким уровням трофии; V – одноклеточные жгутиковые формы средних и крупных размеров (эвгленовые, криптофитовые, динофитовые), устойчивые к снижению содержания питательных веществ, к дефициту света; VI – организмы с кремнистыми экзоскелетами (диатомовые), предпочитающие низкие температуры, толерантные к широкому диапазону трофического статуса водоема.

На основании вышеизложенного можно заключить, что сообщество фитопланктона Казанского залива формируют обитатели мелководных, мезотрофных, эвтрофных и высокоэвтрофных водоемов, преимущественно чувствительные к перемешиванию водной толщи и устойчивые к дефициту света.

Пик развития потенциально токсичных видов из синезеленых (*Aph. flos-aquae* и *P. agardhii*) зарегистрирован в июле и в августе. Наибольшее развитие *Aph. flos-aquae* достигало в июле (17.2 ± 1.9 – 203.9 ± 18.7 млн кл./л и 2.0 ± 0.4 – 24.8 ± 2.2 мг/л) с максимальными значениями в районе 3-й транспортной дамбы и в районе моста Миллениум. В августе *P. agardhii* вытеснил *Aph. flos-aquae* и преобладал по численности в альгофлоре (82.0 ± 6.3 – 139.8 ± 13.7 млн кл./л и 2.5 ± 0.3 – 4.4 ± 0.9 мг/л) с максимальными значениями в районе 3-й транспортной дамбы. Преобладание *P. agardhii*, вероятно, связано с увеличением антропогенной нагрузки, в частности содержания фосфора в воде. По данным гидрохимии в июле содержание Рфосф (фосфор фосфатов) составило 0.014 ± 0.001 мг/л и фосфатов – 0.037 ± 0.002 мг/л; в августе на порядок выше – 0.029 ± 0.004 мг/л и 0.088 ± 0.012 мг/л, соответственно. Способность представителей синезеленых вытеснять друг друга в результате изменения содержания биогенных элементов, органических веществ в воде отмечается другими исследователями [19–21].

Диатомовые из рода *Stephanodiscus* (*St. huntzschii*, *St. minutulus*) наибольшего развития достигали в конце весны и в начале лета. В мае развивались мелкоразмерные формы класса Centrophyceae с преобладанием *St. minutulus* (5.6 ± 1.1 – 26.0 ± 2.0 млн кл./л и 0.3 ± 0.01 – 1.5 ± 0.2 мг/л) с наиболее высокими значениями на акватории залива от ул. Гаврилова до моста Миллениум. С увеличением температуры воды свыше 10°C обилие мелкоразмерных форм уменьшалось, в начале июня начиналось интенсивное развитие более крупных форм с преобладанием *St. huntzschii* (1.6 ± 0.2 – 13.0 ± 1.4 млн кл./л и 29.0 ± 2.6 – 24.0 ± 3.1 мг/л) с высокими значениями на участке от ул. Гаврилова до 3-й транспортной дамбы. В октябре с понижением температуры воды увеличился вклад диатомовых в общую биомассу фитопланктона, *S. ulna* (0.14 ± 0.01 – 1.0 ± 0.1 млн кл./л и 0.16 ± 0.01 – 1.17 ± 0.2 мг/л) и центрических форм.

Активный рост видов группы MBFG V (*Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*) с миксотрофным типом питания отмечен в июле и в августе, в период увеличения ХПК (химического потребления кислорода) в воде до 61.6 мг O_2 /л. В июле – виды рода *Cryptomonas* (0.2 ± 0.02 – 3.9 ± 0.5 млн кл./л и 1.3 ± 0.02 – 23.4 ± 3.1 мг/л) с максимальными значениями в районе ул. Гаврилова, в августе – *Cer. hirundinella* (0.02 ± 0.01 – 0.7 ± 0.1 млн кл./л и 0.7 ± 0.07 – 25.6 ± 1.7 мг/л) в районе моста Миллениум, соответственно.

Сезонная смена доминирующих комплексов определялась диатомовыми водорослями, к которым летом присоединились синезеленые, криптофитовые и динофитовые. Весной (апрель, май) диатомовые составили больше 55 % от средней общей численности и больше 65 % биомассы фитопланктона, развивались золотистые водоросли. Согласно морфофункциональной классификации (FG и MBFG) комплексы относились к группам В, D, X3 и II, VI. Летом (июнь, июль, август) относительный вклад диатомей в общую численность и биомассу фитопланктона снизился, за счет активного развития синезеленых, криптофитовых и динофитовых. В заливе развивался комплекс видов, относящихся к FG D, S1, H1, Y, Lo и MBFG III, V, VI. Осенью (сентябрь, октябрь) с понижением температуры воды, содержания ХПК до 13.8 мгО₂/л численность и биомасса видов FG Y, Lo, H1 и MBFG V значительно снизились, диатомовые из FG D и MBFG VI входили в число доминирующих видов совместно с синезелеными FG S1 и MBFG III (табл. 2).

Таблица 2

Сезонные сукцессии доминирующих видов, морфологических и функциональных групп фитопланктона Казанского залива

	Весна	Лето	Осень
Виды	<i>S. minutulus</i> , <i>S. huntzschii</i>	<i>S. huntzschii</i> , <i>P. agardhii</i> , <i>Aph. flos-aquae</i> , <i>Cr. erosa</i> , <i>Cr. ovata</i> , <i>C. hirundinella</i>	<i>S. ulna</i> , <i>P. agardhii</i>
FG	B, D, X3	D, H1, Lo, S1, Y	D, S1
MBFG	II, VI	III, V, VI	III, VI

Примечание: FG – функциональная группа, MBFG – морфологическая группа.

Таким образом, согласно морфологической (MBFG) и функциональной (FG) классификациям пресноводных планктонных водорослей, фитопланктон Казанского залива в 2017 г. представлен функциональными группами В, D, E, H1, Lo, MP, S1, X2, X3, Y, среди которых преобладают семь типов: В, D, H1, Lo, S1, X3, Y; и четыре морфологическими группами: II, III, V, VI.

Ход сезонной сукцессии фитопланктона определяется последовательной сменой функциональных групп В, D, X3 (весна) → D, H1, Lo, S1, Y (лето) → D, S1 (осень) и морфологических групп II, VI → III, V, VI → III, VI. В период открытой воды сообщество фитопланктона представлено группами видов, свойственных мелководным, олиго-мезотрофным водоемам с низкой прозрачностью; в летний период – мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с мутной водой и с низким содержанием азота; в осенний период – мелководным, эвтрофным водоемам, с низкой прозрачностью, устойчивым к перемешиванию толщи воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием морфофункциональной классификации пресноводного фитопланктона определены морфофункциональные группы фитопланктона Казанского залива в 2017 г. Согласно функциональной классификации (FG) и

наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов (*P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*, *S. ulna*, *Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *Cer. hirundinella*), сообщество фитопланктона Казанского залива можно отнести к В, D, S1, H1, X3 (по численности) или D, S1, Lo, Y (по биомассе). Согласно морфологической классификации (MBFG) и наибольшей средней относительной численности и биомассы доминирующих видов фитопланктон по численности представлен II, III и VI группами (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), по биомассе – III, V и VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *P. agardhii*, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*).

Ход сезонной сукцессии фитопланктона определяется последовательной сменой функциональных групп В, D, X3 → D, H1, Lo, S1, Y → D, S1 и морфологических групп II, VI → III, V, VI → III, VI. В период с мая по октябрь сообщество фитопланктона представлено группами видов, преимущественно свойственных мелководным, эвтрофно-высокоэвтрофным водоемам с низкой прозрачностью (мутной водой), преимущественно устойчивым к перемешиванию толщи воды.

Исследования в данном направлении будут продолжены для оценки динамики и пространственного распределения ассоциаций фитопланктона Казанского залива, изучения влияния экологических условий, антропогенной нагрузки на альгоценоз в динамике.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность научному сотруднику лаборатории гидробиологии ИПЭН АН РТ Берднику С. В. за помощь, оказанную при отборе и первичной обработке проб фитопланктона.

Список литературы

1. Reynolds C. S. Towards classification of the freshwater phytoplankton / Reynolds C. S., Huszar V., Kruk K., Naselli-Flores L., Melo S. // J. Plankton Res. – 2002. – Vol. 24. – P. 417–428.
2. Padisak J. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates / J. Padisak, L. O. Crossetti, L. Naselli-Flores // Hydrobiologia. – 2009. – No 621. – P. 1–19.
3. Kruk C. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton / Kruk C., Huszar V. L. M., Peeters E. T. H. M., Bonilla S., Costa L., Lüring M., Reynolds C. S., Scheffer M. // Freshwater Biology. – 2010. – Vol. 55. – P. 614–627.
4. Kruk C. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups / Kruk C., Segura A. M. // Hydrobiologia. – 2012. – Vol. 698. – P. 191–202.
5. Crossetti L. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed change in a Shallow Urban Tropical Eutrophic Reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years / Crossetti L., Bicudo C. // Hydrobiologia. – 2008. – Vol. 614, Is. 1 – P. 91–105.
6. Bortolini J. C. Phytoplankton functional and morphological groups as indicators of environmental variability in a lateral channel of the Upper Parana River floodplain / Bortolini J. C., Rodrigues L. C., Jati S., Train S. // Acta Limnologica Brasiliensia. – 2014. – Vol. 26, No 1. – P. 98–108.
7. Kruk C. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups / Kruk C., Peeters E. T. H. M., Van Nes E. H., Huszar V. L. M., Costa L. S., Scheffer M. // Limnology and Oceanography. – 2011. – Vol. 56 (1). – P. 110–118.

8. Weithoff G. The intermediate disturbance hypothesis – species diversity or functional diversity? / Weithoff G., Walz N., Gaedke U. // *Journal of Plankton Research*. – 2001. – Vol. 23. – P. 1147–1155.
9. Kruk C. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement / Kruk C., Mazzeo N., Lacerot G., Reynolds C. S. // *Journal of Plankton Research*. – 2002. – Vol. 24. – P. 901–912.
10. Naselli-Flores L. Equilibrium/steady-state concept in phytoplankton ecology / Naselli-Flores L., Padisák J., Dokulil M., Chorus I. // *Hydrobiologia*. – 2003. – Vol. 502. – P. 395–403.
11. Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан (на примере Меши, Казанки и Свяги). – Казань: «ФЭН» АН РТ, 2003. – 289 с.
12. Бариева Ф. Ф. Водные экосистемы г. Казани и их гидробиоценозы. Фитопланктон городских водоемов и водотоков / Бариева Ф. Ф., Халиуллина Л. Ю., Мингазова Н. М. // *Экология города Казани*. – 2005. – С. 236–248.
13. Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России. – М.: Росгидромет, 2013. – 151 с.
14. Мингазова Н. М. Мониторинг состояния реки Казанка в городе Казани и разработка компенсационных мероприятий / Мингазова Н. М., Деревенская О. Ю., Мухачев С. Г., Набеева Э. Г., Палагушкина О. В., Унковская Е. Н., Зарипова Н. Р. // *Экология урбанизированных территорий*. – 2013. – № 2. – С. 121–126.
15. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
16. Karlson B. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. / Karlson B., Cusak C., Bresnan E. // *IOC Manuals and Guides*. – Paris, UNESCO, 2010. – 110 p.
17. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. / Царенко П. М. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
18. Корнева Л. Г. Опыт использования морфофункциональной классификации пресноводных водорослей для оценки динамики и пространственного распределения ассоциаций фитопланктона Рыбинского водохранилища / Корнева Л. Г., Соловьева В. В. // *Ярославский педагогический вестник*. – 2012. – Т. III, № 3. – С. 110–114.
19. Ланге Е. К. Фитопланктонный комплекс Российской части Куршского залива (2001-2007 гг.) / Ланге Е. К. // *Известия КГТУ*. – 2013. – №28. – С. 87–94.
20. Ляшенко О. А. Развитие *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) в водоемах бассейна верхней Волги / Ляшенко О. А. // *Ботанический журнал*. – 2001. – Т. 56, № 7. – С. 61–65.
21. Sakamoto M. Self-regulation of cyanobacterial blooms in a eutrophic lake / Sakamoto M., Okino T. // *Verh. Int. Verein. Limnol.* – 2000. – Vol. 27. – P. 1243–1249.

MORPHOFUNCTIONAL GROUPS OF PHYTOPLANKTON OF THE KAZAN BAY

Abramova K. I., Tokinova R. P.

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

The article presents data on the composition of dominant species of phytoplankton in the Kazan Bay in 2017. The morphofunctional classification of freshwater phytoplankton shows the seasonal succession of the main algal flora associations. The isolation of morphofunctional groups of phytoplankton of the Kazan Bay was investigated for the first time in our work.

During the period of the studies on the average relative abundance, Chrysophyta in April, Bacillariophyta from April to June, Cyanophyta from July to October prevailed; biomass was the highest from April to June and in October for diatoms, from July to

September for blue-green algae. The heyday of Cryptophyta was recorded in July, for Dinophyta in August. According to the functional classification (FG) of freshwater phytoplankton and the largest average relative abundance and biomass of dominant species (*Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Stephanodiscus huntzschii*, *St. minutulus*, *Synedra ulna*, *Chromulina tenera*, *Chr. rosanoffii*, *Cryptomonas erosa*, *Cr. ovata*, *Ceratium hirundinella*), the community of the phytoplankton of the Kazan Bay can be classified as B, D, S1, H1, X3 (quantity) or D, S1, Lo, Y (biomass). Group B represents species of mesotrophic waters, which prefer shallow water zones sensitive to changes in silicon content in water and to seasonal stratification. Group D – species, mainly found in shallow water areas, resistant to low-light conditions (live in muddy water bodies), to agitation. Group S1 – tolerant to light deficiency (mainly turbid waters) species, which prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies. Group H1 – tolerant to low nitrogen content eutrophic species, resistant to mixing, prefer shallow water. X3 – oligotrophic species; Y – species characterized by a wide range of habitats, where the ejection press is low, prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies with low transparency; Lo – species that prefer shallow-water eutrophic and highly eutrophic water bodies.

According to the morphological classification (MBFG) of freshwater phytoplankton and the largest average relative abundance and biomass of the dominant species of phytoplankton in size, they represented by groups II, III and VI (*Chr. tenera*, *Chr. rosanoffii*, *P. agardhii*, *Aph. flos-aquae*, *St. huntzschii*, *St. minutulus*), biomass III, V and VI (*St. huntzschii*, *Cr. erosa*, *Cr. ovata*, *P. agardhii*, *Cer. hirundinella*, *S. ulna*). Group II represented by organisms of small size (Chrysophyta); III – filamentous forms (Cyanophyta), resistant to low-light conditions, high levels of trophism; V – unicellular flagellate forms of medium and large sizes (Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta), resistant to reduced nutrient content, to light deficiency; VI – organisms with siliceous exoskeletons (Bacillariophyta), which prefer low temperatures, tolerant to a wide range of trophic status of the reservoir.

Seasonal change of dominant complexes was determined by diatom algae. In spring (April, May), diatoms accounted for more than 55 % of the average total abundance and more than 65 % of the biomass of phytoplankton, Chrysophyta developed. According to the morphofunctional classification (FG and MBFG), the complexes belonged to groups B, D, X3 and II, VI. In summer (June, July, August), the relative contribution of diatoms to the total abundance and biomass of phytoplankton decreased, due to the active development of Cyanophyta, Cryptophyta and Dinophyta. A complex of species related to FG D, S1, H1, Y, Lo and MBFG III, V, VI developed in the water. In autumn (September, October), with the water temperature lowering, the average organic matter content rose down to 13.8 (mgO₂/l), the abundance and biomass of the species FG Y, Lo, H1 and MBFG V decreased significantly, diatoms from FG D and MBFG VI were among the dominant species together with blue-green algae FG S1 and MBFG III.

The course of seasonal succession of phytoplankton was determined by the successive change in the functional groups B, D, X3 → D, H1, Lo, S1, Y → D, S1 and morphological groups II, VI → III, V, VI → III, VI. During open water, the phytoplankton community was represented by groups of species of shallow, oligo-

mesotrophic water bodies with low transparency; in the summer period – species of shallow, mesotrophic-hypertrophic reservoirs with turbid water and low nitrogen content; in the autumn period – species of shallow, eutrophic reservoirs, with low transparency, resistant to mixing of the water column.

Keywords: phytoplankton, morphofunctional groups, Kazan Bay.

References

1. Reynolds C. S., Huszar V., Kruk K., Naselli-Flores L., Melo S. Towards classification of the freshwater phytoplankton, *J. Plankton Res.*, **24**, 417 (2002).
2. Padišak J. L., Crossetti O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates, *Hydrobiologia*, **621**, 1 (2009).
3. Kruk C., Huszar V. L. M., Peeters E. T. H. M., Bonilla S., Costa L., Lürling M., Reynolds C. S., Scheffer M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton, *Freshwater Biology*, **55**, 614 (2010).
4. Kruk C., Segura A. M. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups, *Hydrobiologia*, **698**, 191 (2012).
5. Crossetti L., Bicudo C. Adaptations in phytoplankton life strategies to imposed changes in a Shallow Urban Tropical Eutrophic Reservoir, Garcas Reservoir, over 8 years, *Hydrobiologia*, **614**, **1**, 91 (2008).
6. Bortolini J. C., Rodrigues L. C., Jati S., Train S. Phytoplankton, Functional and morphological groups in the Upper Parana River floodplain, *Acta Limnologica Brasiliensia*, **26**, **1**, 98 (2014).
7. Kruk C., Peeters E. T. H. M., Van Nes E. H., Huszar V. L. M., Costa L. S., Scheffer M. Phytoplankton community composition can be predicted best in terms of morphological groups, *Limnology and Oceanography*, **56** (1), 110 (2011).
8. Weithoff G., Walz N., Gaedke U. The disturbance hypothesis – species diversity or functional diversity? *Journal of Plankton Research*, **23**, 1147 (2001).
9. Kruk C., Mazzeo N., Lacerot G., Reynolds C. S. Classification schemes for phytoplankton: a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement, *Journal of Plankton Research*, **24**, 901 (2002).
10. Naselli-Flores L., Padišak J., Dokulil M., Chorus I. Equilibrium / steady-state concept in phytoplankton ecology, *Hydrobiologia*, **502**, 395 (2003).
11. *Ecological problems of small rivers of the Republic of Tatarstan* (by the example of Meshi, Kazanka and Sviyaga), 289 p. (2003).
12. Barieva F. F., Khaliullina L. Yu., Mingazova N. M. Water ecosystems in Kazan and their hydrobiocenoses. Phytoplankton of urban water bodies and watercourses, *Ecology of the city of Kazan*, 236 (2005).
13. *Yearbook of the state of ecosystems of surface waters of Russia*, 151 p. (Moscow, 2013).
14. Mingazova N. M., Derevenskaya O. Yu., Mukhachev S. G., Nabeeva E. G., Palagushkina O. V., Unkovskaya E. N., Zaripova N. R. Monitoring of the state of the Kazan River in the city of Kazan and development of compensation measures, *Ecology of urbanized territories*, **2**, 121 (2013).
15. *The method of studying biogeocoenoses of inland water bodies*, 240 p. (Moscow, 1975).
16. Karlson B., Cusak C., Bresnan E. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis, *IOC Manuals and Guides*, 110 p. (Paris, 2010).
17. Tsarenko P. M. *A brief determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR*, 208 p. (Kiev, 1990).
18. Korneva L. G., Solovyova V. V. Experience in the use of morphofunctional classification of freshwater algae to assess the dynamics and spatial distribution of associations of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir, *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, **III**, **3**, 110 (2012).
19. Lange E. K. Phytoplankton complex of the Russian part of the Curonian Lagoon (2001–2007), *Izvestia KSTU*, **28**, 87 (2013).
20. Lyashenko O. A Development of *Planktothrix agardhii* (Cyanophyta) in reservoirs of the Upper Volga basin, *Botanical Journal*, **56**, **7**, 61 (2001).
21. Sakamoto M., Okino T. Self-regulation of cyanobacterial blooms in a eutrophic lake, *Verh. Int. Verein. Limnol.*, **27**, 1243 (2000).

УДК 612.825; 616:613.6

**ЛЮДИ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ОБЩЕГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЕМОНСТРИРУЮТ БОЛЕЕ ВЫРАЖЕННУЮ ДЕСИНХРОНИЗАЦИЮ
МЮ-РИТМА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ДЕЙСТВИЯМИ ДРУГИХ**

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

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

У 65 взрослых испытуемых с различным уровнем общего интеллекта изучали реактивность верхнего и нижнего частотных компонентов альфа-ритма в центральных, фронтальных и париетальных отведениях ЭЭГ при наблюдении за выполнением круговых движений компьютерной мышью другим человеком. Десинхронизация низкочастотного альфа-ритма была максимальной в группе людей с высоким уровнем интеллекта и минимальной – с низким. Для высокочастотного альфа-ритма значимая десинхронизация имела место лишь в выборке с высокими показателями интеллекта и менее всего была выражена в выборке со средним уровнем интеллекта.

Ключевые слова: интеллект, матрицы Равена, электроэнцефалограмма, альфа-ритм, мю-ритм.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ возможных коррелятов между индивидуальными особенностями паттерна ЭЭГ и уровнем развития интеллекта является одним из актуальных направлений исследований, посвященных поиску нейробиологических механизмов, лежащих в основе формирования когнитивных способностей у человека. К настоящему времени примеры наличия корреляционных зависимостей между индивидуальным уровнем развития интеллекта и различными параметрами ЭЭГ-активности продемонстрированы уже во многих исследованиях. Можно выделить две группы характеристик ЭЭГ, для которых были обнаружены такого рода соотношения: во-первых, показатели амплитуды ритмов, во-вторых, различные параметры коннективности ЭЭГ, такие, например, как когерентность. Мощность ЭЭГ, в целом, положительно коррелирует с уровнем общего интеллекта [1, 2]. В частности, данная закономерность имеет место для частотных диапазонов, соответствующих альфа- и бета-ритмам [3, 4]. В случае низкочастотной ЭЭГ (дельта- и тета-ритмы) более высоким показателям интеллекта соответствовала сниженная амплитуда данных ритмов в выборке детей, демонстрирующих трудности в обучении [1], чего, однако, не наблюдалось в выборке типично развивающихся детей [5]. Показана более сильная связь между интеллектом и мощностью высокочастотного альфа-ритма (10–12 Гц), по сравнению с низкочастотным (8–9 Гц) [6, 7].

Одним из объектов в исследованиях нейрофизиологических коррелятов интеллекта может выступать активность системы зеркальных нейронов в связи с представлениями о ее роли в процессах социального научения через подражание [8, 9]. Опосредуя взаимосвязь между собственными действиями человека и его восприятием действий других, оптимальное развитие данной системы должно быть важным фактором формирования общего интеллекта. Популярна гипотеза о том, что активность сенсомоторного (мю-) ритма ЭЭГ можно рассматривать в качестве одного из функциональных маркеров процессов активации «зеркальной» системы мозга [10, 11]. Считается, что данный ритм отражает процессы активации и торможения в соматосенсорных и моторных корковых проекциях. В частности, при осуществлении движений правой рукой максимальная десинхронизация мю-ритма регистрируется в центральном отведении С3 [12]. Полагают, что связанная с событием десинхронизация, вызванная процессами таламокортикальной стимуляции, является надежным коррелятом активации нейронных ансамблей [13]. Люди, имеющие более высокие показатели интеллекта, как правило, демонстрируют более выраженную корковую активацию в задачах, предполагающих обработку визуо-пространственной информации [14].

Ранее нами уже была выявлена взаимосвязь между модуляциями мю-ритма в процессе наблюдения за действиями других и уровнем когнитивного развития у детей [15]. Группой других исследователей опубликованы данные о корреляции между уровнем невербального интеллекта и силой десинхронизации мю-ритма при осуществлении целенаправленных движений у взрослых испытуемых [16]. Целью настоящего исследования стал поиск возможных взаимосвязей между уровнем общего интеллекта и особенностями десинхронизации альфа-ритма при зрительном восприятии целенаправленных движений другого человека взрослыми испытуемыми.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 65 здоровых взрослых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет (29 мужчин и 36 женщин). ЭЭГ регистрировалось при помощи 24-канального энцефалографа «Нейрон спектр – 3» (фирма «Нейрософт», Иваново) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. ЭЭГ-потенциалы отводились монополярно от фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4) локусов в соответствии с международной системой наложения электродов 10-20. В качестве референтного электрода служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Обработка сигналов производилась с помощью быстрых преобразований Фурье с последующим сглаживанием по методу Баттерворта.

В ходе эксперимента испытуемый и экспериментатор находились за расположенными рядом столами, экспериментатор справа. На каждом столе был размещен монитор и компьютерная мышь. Запись ЭЭГ производилась во время наблюдения за выполнением экспериментатором круговых движений правой рукой с помощью компьютерной мыши с переменной скоростью («Наблюдение»).

Контрольной ситуацией являлась зрительная фиксация на статичном видеоизображении компьютерной мыши в состоянии покоя («Фон»);

Проводился анализ реактивности альфа1- (8–10 Гц), альфа2- (10–12 Гц) частотных диапазонов ЭЭГ. Для оценки статистической значимости изменений в амплитуде ритмов в основных экспериментальных ситуациях относительно «фона» использовался дисперсионный анализ для повторных измерений (repeated measures ANOVA), который проводился отдельно для альфа1- и альфа2-частотных диапазонов. В качестве группирующих факторов были выбраны две переменные. Одна из них – «Локус»: 9 отведений ЭЭГ (Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4). Вторая – «Ситуация»: «Наблюдение» и «Фон». Для расчета статистической значимости эффектов супрессии альфа1- и альфа2-ритма в привязке отдельно к каждому из девятнадцати отведений использовался метод априорных контрастов (оценка F-распределения).

Уровень общего интеллекта у испытуемых оценивали с помощью теста «Стандартные прогрессивные матрицы Равена». Этот тест требует выявления отношений между абстрактными графическими элементами и является одним из традиционных инструментов для измерения фактора g интеллекта [17]. «Сырые» баллы, принимающие значение от нуля до 60, переводились в стандартизованную шкалу, имеющую для выборки взрослых испытуемых максимальную величину, равную 130 баллам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Психологическое тестирование с помощью методики «Стандартные прогрессивные матрицы Равена» показало, что среднее значение коэффициента интеллекта в выборке участников исследования составило 108,5 балла (стандартное отклонение 11,5 балла). Таким образом, значительная часть испытуемых находилась в диапазоне «нормального» уровня интеллекта. Значения коэффициента интеллекта варьировали в относительно широком диапазоне от 80 до 130 баллов.

С целью анализа особенностей реактивности альфа-ритма ЭЭГ в задаче на зрительное восприятие движений другого человека в зависимости от уровня общего интеллекта вся выборка была разделена на три группы. Первая группа включала 22 испытуемых, уровень интеллекта которых характеризовался как средний (IQ не превышал 102 балла); вторая группа состояла из 18 испытуемых с уровнем интеллекта выше среднего (103–120 баллов); в третью группу входили 25 человек с высокими оценками интеллекта (121–130 баллов).

Оценка силы десинхронизации альфа-ритма в выбранных отведениях ЭЭГ проводилась с помощью дисперсионного анализа отдельно для высокочастотного и низкочастотного диапазонов. В качестве внутригрупповых факторов выступали экспериментальная ситуация («Ситуация»), локус ЭЭГ («Локус») и их взаимодействие («Ситуация» × «Локус»). Итоговые значения данного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Результаты дисперсионного анализа различий в амплитуде альфа1- и альфа2-ритмов в зависимости от экспериментальной ситуации и локуса ЭЭГ

IQ	альфа1-ритм			альфа2-ритм		
	Ситуация	Локус	Ситуация × Локус	Ситуация	Локус	Ситуация × Локус
Низкий	F(1, 21) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(1, 21) p; η^2	F(8, 168) p; η^2	F(8, 168) p; η^2
	2,730	2,411	2,195	4,260	3,335	2,692
	0,113; 0,115	< 0,05; 0,103	< 0,05; 0,095	0,052; 0,169	< 0,05; 0,137	< 0,05; 0,114
Средний	F(1, 17) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(1, 17) p; η^2	F(8, 136) p; η^2	F(8, 136) p; η^2
	10,310	1,971	3,447	1,011	6,574	2,179
	< 0,05; 0,378	0,055; 0,104	< 0,001; 0,169	0,329; 0,056	< 0,001; 0,279	< 0,05; 0,114
Высокий	F(1, 24) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(1, 24) p; η^2	F(8, 192) p; η^2	F(8, 192) p; η^2
	26,365	6,268	10,421	15,843	10,807	6,459
	< 0,001; 0,523	< 0,001; 0,207	< 0,001; 0,303	< 0,001; 0,398	< 0,001; 0,310	< 0,001; 0,212

Примечание. «Локус»: ЭЭГ-отведения Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4. «Ситуация»: «Фон» – фиксация взгляда на статичном изображении и «Наблюдение» – наблюдение за движением.

Обнаружено, что для группы испытуемых со средним уровнем интеллекта значимое влияние на различия амплитуды альфа1- и альфа2-ритмов в экспериментальной и контрольной ситуациях оказывают фактор «Локус» и взаимодействие факторов «Локус» и «Ситуация». В группе с уровнем интеллекта выше среднего значимое влияние на различия амплитуды альфа1-ритма оказывают факторы «Ситуация» и взаимодействие ситуаций «Локус» и «Ситуация»; на различия амплитуды альфа2-ритма – факторы «Локус» и «Ситуация» x «Локус». На различия амплитуд альфа1- и альфа2-ритмов в группе испытуемых с высоким

уровнем интеллекта оказывали влияние как факторы «Локус» и «Ситуация», так и взаимодействие этих факторов. Максимальная десинхронизация альфа-ритма в обоих частотных диапазонах наблюдается в группе испытуемых с высоким уровнем общего интеллекта.

Чтобы оценить значимость супрессии амплитуды альфа-ритма в каждой группе испытуемых отдельно для каждого отведения ЭЭГ, использовался метод априорных контрастов. Величины падения амплитуды в процентах и статистическая значимость различий между «фоном» и «наблюдением» представлены на соответствующих рисунках ниже. В связи с ситуацией множественности сравнений, величина значимости различий корректировалась для каждого набора из девяти отведений в соответствии с поправкой Бонферрони умножением на 9. Статистически значимыми считались различия с величиной $p < 0,05$.

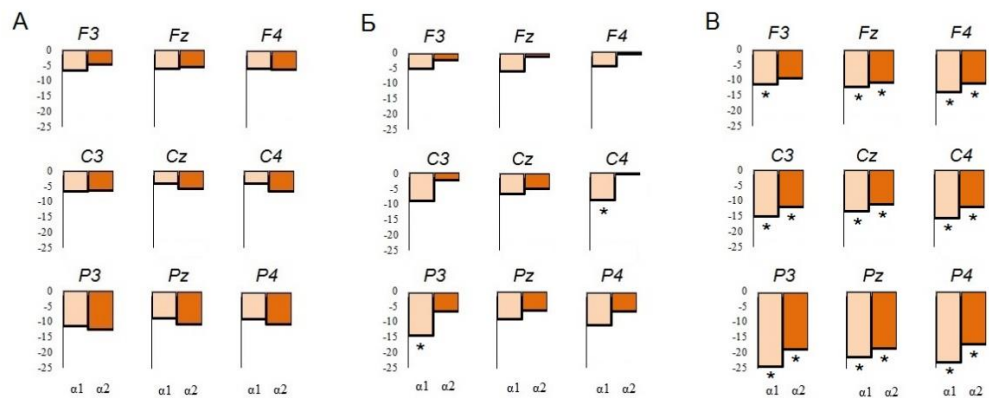


Рис. 1. Величины падения (%) амплитуды альфа1- и альфа2-ритмов при наблюдении за движениями руки экспериментатора относительно зрительной фиксации на статическом объекте в группах с средним (А), выше среднего (Б) и высоким (В) уровнями интеллекта в центральных, фронтальных и парietальных отведениях ЭЭГ. Символом «*» обозначены случаи значимых различий при $p < 0,05$.

Результаты анализа особенностей реактивности альфа-ритма в каждом из отведений отдельно в связи с уровнем интеллекта испытуемых позволяют нам утверждать, что наблюдение за целенаправленными движениями другого человека вызывает обширную десинхронизацию альфа-активности в обоих частотных диапазонах в первую очередь в группе с высоким уровнем общего интеллекта. При этом зарегистрированные эффекты не имеют выраженной полушарной латерализации. Десинхронизация альфа-активности в группе испытуемых со средним уровнем интеллекта достигала статистической значимости лишь в отведениях С4 и Р3 и только в случае низкочастотного компонента альфа-ритма. Группа испытуемых с низким интеллектом не продемонстрировала значимой десинхронизации.

Если рассматривать эффекты реактивности альфа-ритма центральной локализации как отражающие активность «зеркальной» системы мозга, то данные нашего исследования могут свидетельствовать в пользу гипотезы о том, что высокая чувствительность данной системы является одним из факторов успешного формирования показателей общего интеллекта. Представляет интерес тот факт, что низкочастотный компонент альфа-ритма характеризовался, в целом, более низкой реактивностью при переходе от группы с высоким интеллектом к группе со средним его уровнем и, далее, к группе с низким интеллектом. В случае высокочастотного альфа-ритма наблюдается менее однозначная картина. Минимальная его десинхронизация имеет место в выборке участников со средним уровнем общего интеллекта. Следует отметить, что выявленные нами закономерности не позволяют говорить в пользу гипотезы [6, 7] о более тесной связи между интеллектом и именно высокочастотным компонентом альфа-ритма, по крайней мере, в контексте его реактивности при восприятии действий других людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Максимальная десинхронизация альфа-ритма в центральных, фронтальных и париетальных отведениях при наблюдении за циклическими круговыми движениями рукой с помощью компьютерной мыши регистрируется в выборке взрослых испытуемых, имеющих высокий уровень общего интеллекта, измеренного с помощью «Стандартных прогрессивных матриц Равена».
2. Различия в степени реактивности высоко- и низкочастотных компонентов альфа-ритма минимальны в случае выборок испытуемых с высоким и низким уровнем общего интеллекта. В группе со средним уровнем интеллекта значимо десинхронизируется лишь низкочастотный компонент альфа-ритма: в левополушарном теменном докусе P3 и правополушарном центральном докусе C4.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-015-00074.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Marosi E. Broad band spectral parameters correlated with different I.Q. measurements / E. Marosi, H. Rodriguez, T. Harmony, G. Yanez, M. Rodriguez, J. Bernal, T. Fernandez, J. Silva, A. Reyes, V. Guerrero // Int. J. Neurosci. –1999. – Vol. 97, No 1–2. – P. 17–27.
2. Schmid R. G. Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children / R. G. Schmid, W. S. Tirsch, H. Scherb.// Clin Neurophysiol. – 2002. – Vol. 113, No 10. – P. 1647–1656.
3. Jausovec N. Differences in EEG current density related to intelligence / N. Jausovec, K. Jausovec // Brain Res. Cogn. Brain Res. – 2001. – Vol. 12, No 1. – P. 55–60.
4. Станкова Е. П. О связи индивидуальных характеристик электроэнцефалограммы с уровнем интеллекта / Станкова Е. П., Мышкин И. Ю. // Вестник Московского университета. – Серия 16: Биология. – 2016. – № 4. – С. 83–88.

5. Martin-Loeches M. Electrophysiology and intelligence: the electrophysiology of intellectual functions in intellectual disability / M. Martin-Loeches, J. Munoz-Ruata, L. Martinez-Lebrusant, G. Gomez-Jari // *J. Intellect. Disabil. Res.* – 2001. – Vol. 45, No 1. – P. 63–75.
6. Jausovec N. Differences in resting EEG related to ability / N. Jausovec, K. Jausovec // *Brain Topogr.* – 2000. – Vol. 12, No 3. – P. 229–240.
7. Jausovec N. Correlations between ERP parameters and intelligence: a reconsideration / N. Jausovec, K. Jausovec // *Biol. Psychol.* – 2000. – Vol. 55, No 2. – P. 137–154.
8. Blakemore S. J. The role of motor contagion in the prediction of action / Blakemore S. J., Frith C. // *Neuropsychologia.* – 2005. – Vol. 43. – P. 260.
9. Ohnishi T. The neural network for the mirror system and mentalizing in normally developed children: An fMRI study / T. Ohnishi, Y. Moriguchi, H. Matsuda, T. Mori, M. Hirakata, E. Imabayashi, K. Hirao, K. Nemoto, M. Kaga, M. Inagaki, M. Yamada, A. Uno // *Neuroreport.* – 2004. – Vol. 15. – P. 1483–1487.
10. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behav. Brain. Funct.* – 2008. – Vol. 4. – P. 47.
11. Cochin S. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography / S. Cochin, C. Barthelemy, S. Roux, J. Martineau // *Eur J. Neurosci.* – 1999. – Vol. 11. – P. 1839–1842.
12. McFarland D. J. Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements / D. J. McFarland, L. A. Miner et al. // *Brain Topogr.* – 2000. – Vol. 12 (3). – P. 177–186.
13. Goldman R. I. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm / R. I. Goldman, J. M. Stern et al. // *Neuroreport.* – 2002. – Vol. 13 (18). – P. 2487–2492.
14. Doppelmayr M. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task / M. Doppelmayr, V. Klimesch et al. // *Brain Res. Bull.* – 2005. – Vol. 66 (2). – P. 171–177.
15. Павленко В. Б. Связь реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ с психологическими характеристиками детей и взрослых / В. Б. Павленко, Ю. О. Дягилева, А. А. Михайлова [и др.] // *Журнал фундаментальной медицины и биологии.* – 2016. – № 2. – С. 30–36.
16. Anwar M. N., A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression / M. N. Anwar, M. S. Navid, M. Khan, K. Kitajo // *Brain research.* – 2015. – Vol. 1603. – P. 84–93.
17. Анастази А. Психологическое тестирование. 7-е изд. / Анастази А., Урбина С. – СПб.: 2007. – 688 с.

**PEOPLE WITH HIGH LEVEL OF GENERAL INTELLIGENCE SHOW MORE
PRONOUNCED MU RHYTHM DESYNCHRONIZATION WHEN OBSERVING
ACTIONS PERFORMED BY OTHERS**

Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: vpav55@gmail.com*

The patterns of reactivity of the EEG alpha rhythm during observation of actions were assessed in relation to the individual level of general intelligence. A sample of 65 adult subjects aged from 18 to 30 years (36 females) was divided into three groups according to their intelligence quotient measured by means of the Raven's standard progressive matrices. All the subjects underwent an EEG study when observing other people produce circular right-hand movements with a computer mouse. There have been measured the indices of alpha-rhythm desynchronization at the following EEG sites: C3, Cz, C4, F3, Fz, F4, P3, Pz, P4. The low frequency (8–10 Hz) and high frequency (10–12 Hz) alpha were

analyzed separately with the help of ANOVA with repeated measures. The within-subjects factors were the EEG locus (nine leads) and the situation (experimental and baseline ones). In the low intelligence group, the situation factor was not significantly influential, while in the medium intelligence group it showed significant effect for the low frequency alpha amplitude and in the high intelligence group – for both frequency components of the alpha rhythm. The test of contrasts (F-distribution) applied to each EEG site separately showed highly significant desynchronization for both low and high frequency alpha at the eight of nine EEG sites (excluding locus F3 for 10–12 Hz alpha) in the high intelligence group, mild but still significant desynchronization for low frequency alpha at P3 and C4 sites, and no significant attenuation of alpha in the low intelligence group. It is hypothesized that a positive association between a high intelligence level and a relatively high reactivity of alpha rhythm in central and adjacent frontal and parietal EEG loci in response to a human action observation might be interpreted in light of the concept of mirror neurons. It is thought to have a marker of its activation in the form of the mu rhythm attenuation when processing social actions produced by others. Thus, the higher the development of the mirror neuron system, the larger is individual capacity for potential intelligence development.

Keywords: intelligence, Raven's progressive matrices, electroencephalogram, alpha-rhythm, mu-rhythm.

References

1. Marosi E., Rodriguez H., Harmony T., Yanez G., Rodriguez M., Bernal J., Fernandez T., Silva J., Reyes A., Guerrero V. Broad band spectral parameters correlated with different I.Q. measurements, *Int. J. Neurosci.*, **97**(1–2), 17 (1999).
2. Schmid R. G., Tirsch W. S., Scherb H. Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children, *Clin. Neurophysiol.*, **113**(10), 1647 (2002).
3. Jausovec N., Jausovec K. Differences in EEG current density related to intelligence, *Brain. Res. Cogn. Brain. Res.*, **12**(1), 55 (2001).
4. Stankova E. P., Myshkin I. Yu. O svyazi individualnykh kharakteristik elektroentsefalogrammy s urovnem intellekta, *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology* **4**, 83 (2016).
5. Martin-Loeches M., Munoz-Ruata J., Martinez-Lebrusant L., Gomez-Jari G. Electrophysiology and intelligence: the electrophysiology of intellectual functions in intellectual disability, *J. Intellect. Disabil. Res.*, **45**(1), 63 (2001).
6. Jausovec N., Jausovec K. Differences in resting EEG related to ability, *Brain Topogr.*, **12**(3), 229 (2000).
7. Jausovec N., Jausovec K. Correlations between ERP parameters and intelligence: a reconsideration. *Biol. Psychol.*, **55**(2), 137 (2000).
8. Blakemore S. J., Frith C. The role of motor contagion in the prediction of action, *Neuropsychol.*, **43**, 260 (2005).
9. Ohnishi T., Moriguchi Y., Matsuda H., Mori T., Hirakata M., Imabayashi E., Hirao K., Nemoto K., Kaga M., Inagaki M., Yamada M., Uno A. The neural network for the mirror system and mentalizing in normally developed children: An fMRI study, *Neuroreport*, **15**, 1483 (2004).
10. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? *Behav. Brain. Funct.*, **4**, 47 (2008).
11. Cochin S., Barthelemy C., Roux S. and Martineau J. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography, *Eur. J. Neurosci.*, **11**, 1839 (1999).
12. McFarland D. J., Miner L. A., et al., 2000. Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements, *Brain Topogr.* **12**(3), 177 (2000).
13. Goldman R. I., Stern J. M., et al. Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm, *Neuroreport*. **13**(18), 2487 (2002).

14. Doppelmayr M., Klimesch W., et al. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task, *Brain Res. Bull.*, **66**(2), 171 (2005).
15. Pavlenko V. B., Dyagileva Yu. O., et al. Svyaz reaktivnosti sensomotornogo ritma EEG s psikhologicheskimi kharakteristikami detey i vzroslykh, *Jounral of fundamental medicine and biology*, **2**, 30 (2016).
16. Anwar M. N., Navid M. S., Khan M., Kitajo K. A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression, *Brain research*, **1603**, 84 (2015).
17. Anastazi A. and Urbina S., *Psychological testing* (Prentice Hall, 2007)

УДК 630.174. 755:630.27

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕКОРАТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КАВКАЗА

Бебия С. М., Джакония Е. Ф., Титов И. Ю.

*Ботанический институт Академии наук Абхазии, Сухум, Абхазия
E-mail: bebia_serger@mail.ru*

Разработаны и предложены шкалы оценки декоративности и экологической устойчивости древесных растений, включающие 23 и 15 основных показателей соответственно, характеризующие декоративные качества кроны, цветка, ствола, листа, плода и экологические особенности таксона в целом.

Ключевые слова: шкала, оценка, декоративность, экологическая устойчивость, древесные породы.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач зеленого строительства – эффективное использование растений интродуцированных и местных древесных пород в зависимости от декоративных свойств и экологической устойчивости к конкретным условиям их применения. Решение такой задачи невозможно без оценки их декоративных качеств и устойчивости к условиям их произрастания.

Озеленение – неотъемлемая часть благоустройства городов, сел и других населенных мест, украшение быта, одно из важнейших средств по созданию здоровой климатической и санитарно-гигиенической обстановки, способствующей долгой и плодотворной жизни человека.

Известно, что растения производят кислород, поглощают вредные вещества, в том числе радионуклиды, снижают шум, выделяют летучие вещества-фитонциды, которые убивают болезнетворные бактерии. Растения выполняют эстетические функции, обеспечивая потребность человека в созерцании их зелени, цветов, формы и текстуры коры, плодов, корней. Растительные мотивы используют в живописи и прикладном искусстве.

Растения, в условиях озеленения, могут быть биоиндикаторами и раньше, чем человек может среагировать на наличие в среде вредных веществ. Поэтому растения являются постоянными спутниками человека с момента его появления на Земле. Обеспечивают его пищей, влагой, древесиной для сооружения жилья, охрану от врагов, являются объектами духовного созерцания и наслаждения.

В настоящее время, в эпоху бурного роста урбанизации городов и населенных мест, нарастающего темпа загрязнения окружающей среды, роль озеленения в сохранении благоприятной среды для существования человека становится чрезвычайно высокой.

Слово «Декоративный» происходит от французского (*decoratif*) и означает служащий, предназначенный для украшения.

Декоративные растения – дикорастущие и интродуцированные растения (деревья, кустарники, лианы, многолетние и однолетние травы), применяемые в озеленении. Отличаются они наглядным разнообразием формы, различной окраской листьев, цветков и плодов, которые придают растениям значительную привлекательность и вызывают у наблюдателя сильное эмоциональное, эстетическое ощущение, восхищение и духовное наслаждение.

Классификации по отдельным декоративным признакам растений, например по форме крон древесных растений, приводятся во многих руководствах по зеленому строительству и некоторых курсах дендрологии. Однако, классификация декоративных растений по отдельным декоративным признакам часто может затушевывать общий характер физиономического облика растений. В одну и ту же группу растений, обладающих определенным типом кроны, часто попадают растения, разнородные по своему облику. Пирамидальный тополь по форме кроны очень близок к пирамидальному кипарису, но по внешнему физиономическому облику это совершенно разные типы деревьев. В то время как кипарис представляет собой величественное стройное дерево, тополь пирамидальный, вследствие слабости ветвей и растрепанности кроны неуклюж и неряшлив [1]. Поэтому классификация декоративных растений должна основываться не на отдельных морфологических признаках, а на их совокупности, образующей физиономический тип данного растения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Безусловно, при подборе ассортимента для озеленения необходима всесторонняя информация об их декоративности и экологических особенностях. В связи с субъективным восприятием человеком облика (габитуса) растений существует проблема объективизации сравнительной оценки их декоративных качеств [2].

В практике декоративного садоводства и цветоводства при оценке декоративных качеств видов и сортов растений широко используют соответствующие шкалы. Так, В. Н. Быловым [3] предложена шкала оценки декоративности сортов цветочных растений, в основу которой положен комплексный метод оценки сортов растений с переводом всех характеристик в относительные величины, что упрощает отбор и позволяет выделить лучшие по декоративным признакам сорта, наиболее полно отвечающие требованиям производства. Такой методологический подход при разработке шкал оценки декоративности разных видов и сортов растений был также применен и другими авторами [1, 4–9] с использованием от 7 до 13 показателей декоративности.

Однако, по нашим исследованиям, объективную оценку декоративных достоинств древесных растений можно определить лишь при оценке существенно большего числа морфологических признаков декоративности. Исходя из этого, для комплексной оценки декоративных достоинств того или иного таксона нами был использован интегральный метод оценки декоративных показателей древесных

растений с переводом всех признаков показателей в относительные величины, но с некоторой модификацией, с использованием 23 показателей декоративности (табл. 1). При этом были исключены или заменены ряд показателей декоративности, приводимые другими авторами, которые не в полной мере отражали декоративные качества.

Наиболее удобным и объективным, на наш взгляд, является использованный в этих шкалах комплексный подход оценки декоративности и экологической устойчивости древесных растений с переводом всех характеристик в баллы, который позволяет выделить лучшие по комплексу признаков таксоны для включения их в ассортимент растений при конкретных композиционных решениях.

Показатели, выбранные в качестве критериев оценки декоративности, имеют разные переводные коэффициенты, отражающие роль их в общей интегральной оценке. Нами использована 5-ти балльная шкала переводного коэффициента (1–5) при оценке показателей декоративности того или иного таксона и 3-х балльная шкала при оценке показателей экологической устойчивости декоративных растений. При установлении переводного коэффициента (ПК) исходили из продолжительности действия каждого декоративного показателя и силы его эмоционального воздействия. В разработанных нами шкалах указан необходимый для оценки каждой характеристики критерий, что позволяет снизить субъективность оценки.

Ниже, в статье, обсуждаются результаты комплексной оценки декоративности и экологической устойчивости 6 видов древесных пород (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach), *Cunninghamia konishii* Hayata, *Taiwania cryptomerioides* Hayata, *Acer alboburpurascens* Hayata, *Acer serrulatum* Hayata), полученные с использованием предлагаемой методики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Облик растения, его цвет, зависят от наследственных качеств каждого вида, внешних факторов, действующих на растение, и изменяются в зависимости от условий произрастания и возраста. В течение вегетационного периода изменяется окраска отдельных частей растения. За счет этого раскрывается огромное многообразие форм, текстуры, оттенков цвета живой природы. К примеру, у *клена мелкопильчатого*, интродуцированного нами впервые в Абхазию в 1996 году, 9 раз меняет окраску листвы в течение вегетационного периода.

Понятие о декоративности древесных растений складывается в зависимости от того, как они выглядят в определенном окружении в композиции парка, сада, лесопарка, озеленении улиц.

Облик растений – четкий, графический или мягкий, живописный, узор и текстура, мозайка, цвет листвы, коры, ствола, ветвей, цветка, плодов – эти и многие другие черты декоративности могут быть выразительными, притягивающими взгляд зрителя или теряться и быть непривлекательными в зависимости от выстроенной древесно-кустарниковой композиции [10].

Одно и то же дерево выглядит по-разному от того, на каком фоне оно произрастает, какая группа формируется, какое декоративное обрамление

образуется. Необходимо учитывать и то, что дерево способно изменять габитус с возрастом и под воздействием окружающих условий.

Характер садово-паркового ландшафта зависит, в первую очередь, от физиономического облика растений, входящих в состав древесно-кустарниковых групп. В каждом растении можно выделить отдельную деталь, придающую ему определенную выразительность и определяющую его облик: белая кора березы, красные ягоды рябины, желтые и красные ветви ивы, кисти цветков сирени, запах цветков жимолости [11].

Поэтому, для того чтобы дать понятие о декоративном облике растения, необходимо предварительно охарактеризовать декоративные качества отдельных органов растений. Среди них главными являются форма и окраска цветков и соцветий, плодов и соплодий, листьев, ветвей, ствола, структура и форма кроны. К декоративным качествам древесных растений можно отнести: жизненные формы, размеры растений; форму, размер и архитектуру кроны; форму, размеры, строение, цвет и длительность жизни листьев; форму, размеры, строение, цвет и длительность цветения; запах цветков; форму, размеры ствола и текстура коры; характер плодоношения (шишконошения), размеры, окраска, сроки опадения плодов и шишек и другие. Эти декоративные качества изменчивы, динамичны и играют важную роль при выборе растений для садово-паркового строительства.

Понятие декоративное растение сугубо региональное, поскольку в различных районах, даже при равных прочих условиях декоративные качества одного и того же вида растения могут быть различными. Они во многом определяются генетическими свойствами вида, экологическими (климатическими, почвенно-грунтовыми) условиями местопрорастания растений, уровнем агротехники их возделывания. К примеру, *секвойядендрон гигантский* в Крыму достигает свыше 50 м высоты и более 2 м в диаметре и отличается высокими декоративными достоинствами. В субтропиках Черноморского побережья Кавказа (ЧПК) этот вид экологически не устойчивый, не выделяется своими декоративными качествами из-за влажности климата, и, практически, не используется в озеленении.

К декоративным деревьям, кустарникам, лианам относятся лиственные и хвойные, вечнозелёные листопадные растения, которые используются для создания парков, скверов, бульваров, в озеленении улиц. В одиночных посадках, например, можно использовать породы с раскидистой (*дуб сизый, липа кавказская, платан восточный, пазания Харланда, магнолия крупноцветковая, каркас китайский, клен мелкопильчатый*), или зонтиковидной формой кроны (*акация шелковистая, сосна итальянская, клен пальмовидный, маллотус японский*). Растения с плакучей формой кроны и влаголюбивые (*ива вавилонская, берёза плакучая, ясень Гриффита, софора японская, таксодиум мексиканский, метосеквойя глиптостробусовая*) служат для украшения водоёмов. В альпинариях, на склонах, скалистых горках особенно красивы стелющиеся растения (*кизильник горизонтальный, можжевельник горизонтальный, микробиота перекрестнопарная*).

Таблица 1

Шкала оценки декоративных признаков древесных растений

№ п/п	Показатели декоративности	Признаки					ПК
		Баллы					
		5	4	3	2	1	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ствол	<i>многоствольный, сбежистый, различной формы искривления, извилистый, высокая сучковатость, толстые многолетние ветви</i>	<i>низкорослый, карликовый</i>	<i>одноствольный, тонкие многолетние ветви</i>	–	–	4
2	Темпы роста (средне-годовой прирост по высоте, см)	<i>быстрорастущий, более 50</i>	<i>умеренного роста, 30–50</i>	<i>медленно растущий, 15–30</i>	<i>слабого роста, до 15</i>	–	1
3	Характер очищения ствола и кроны от сухих побегов	<i>быстрое, в течение одного года</i>	<i>медленное, в течение двух лет</i>	<i>медленное, в течение пяти лет</i>	<i>медленное, в течение пяти лет</i>	–	1
4	Структура и цвет коры	<i>цвета различных оттенков, подчеркивают декоративность</i>	<i>выразительная, извилистая, бугристая, трещиноватая, морщинистая, бороздчатая, волокнистая, подчеркивают декоративность</i>	<i>иной формы, слабо подчеркивают декоративный эффект</i>	–	<i>невыразительная, невзрачная, не подчеркивают декоративный эффект</i>	3
5	Форма кроны	<i>зонтичная, плакучая, провислая, стелющаяся, сильно подчеркивает декоративность</i>	<i>округлая, симметричная, овальная, пирамидальная, колоновидная, подчеркивает декоративный эффект</i>	<i>плотная, компактная, низкорослая, посаженная, подчеркивает декоративность</i>	<i>средней плотности ажурная, высокая, посаженная, слабо подчеркивает декоративный эффект</i>	<i>неправильная, метловидная, рыхлая, раскидистая</i>	5
6	Размер цветка, см	<i>очень крупные, более 10</i>	<i>крупные, 5–9</i>	<i>средние 2–4</i>	<i>мелкие 1–2</i>	<i>очень мелкие, до 1</i>	4

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Размер соцветий, см	<i>очень крупные, более 20</i>	<i>крупные, 10–19</i>	<i>средние, 5–9</i>	<i>мелкие, до 5</i>	–	4
8	Окраска цветков	<i>яркая, выразительная, различных оттенков, подчеркивающих высокую декоративность</i>	<i>выразительная, различных оттенков, подчеркивают декоративный эффект</i>	<i>заметная, различных оттенков, слабо подчеркивают декоративный эффект</i>	–	<i>мелкие, малозаметные, невзрачные, не подчеркивает декоративность</i>	4
9	Махровость цветков	<i>махровые</i>	<i>полумахровые</i>	–	<i>простые, типичные для вида</i>	–	3
10	Расположение цветков, стробилов	<i>по всей кроне</i>	<i>на стволах и побегах</i>	<i>на 1/2 части вершины кроны</i>	<i>на 1/3 части вершины кроны</i>	–	3
11	Цветки	<i>в соцветиях</i>	<i>одиночные</i>	–	–	–	2
12	Аромат	<i>интенсивный</i>	–	<i>слабый</i>	–	<i>неприятный</i>	2
13	Характер цветения, пыления	<i>обильное, ежегодное</i>		<i>обильное, нерегулярное</i>		<i>слабое</i>	3
14	Продолжительность цветения, пыления	<i>более 3 месяцев, повторное</i>	<i>1–3 месяца</i>	<i>15–30 дней</i>	<i>8–15 дней</i>	<i>до 7 дней</i>	5
15	Размеры плодов, соплодий, шишек, см	<i>очень крупные, более 10</i>	<i>крупные, 6–10</i>	<i>средние, 4–5</i>	<i>мелкие, 1–3</i>	<i>очень мелкие, менее 1 см</i>	4
16	Окраска плодов, шишек	<i>яркие, красивые, четко выделяются на фоне кроны</i>	<i>красивые, хорошо заметные на фоне кроны</i>	<i>мало заметное, не подчеркивают декоративный эффект</i>	–	<i>незаметные, невзрачные, тусклые</i>	4
17	Характер плодоношения, шишконошения	<i>обильное</i>	–	<i>среднее</i>	–	<i>слабое</i>	2
18	Сроки опадения плодов, шишек	<i>до весны следующего года</i>	<i>длительно сохраняющихся, 3–6 месяцев</i>	<i>продолжительно сохраняющихся, 1–3 месяца</i>	<i>недолго сохраняющихся, до 1 месяца</i>	<i>не сохраняющихся</i>	2
19	Формы и размеры листьев, хвои, см	<i>простые: очень крупные, более 20</i>	<i>крупные, 10–19</i>	<i>средние 5–9</i>	<i>мелкие 1–4</i>	<i>очень мелкие до 1</i>	5
		<i>сложные: очень крупные более 50</i>	<i>крупные 20–49</i>	<i>средние 10–19</i>	<i>мелкие 5–9</i>	<i>очень мелкие до 4</i>	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
20	Окраска листьев, хвои	<i>пестрая, различных оттенков, заметно подчеркивает декоративный эффект</i>	<i>выразительная, изменчивая в течение года, подчеркивает декоративный эффект</i>	<i>одноцветная, насыщенная, подчеркивает декоративный эффект</i>		<i>одноцветная, невыразительная, слабо подчеркивает декоративный эффект</i>	4
21	Способность переносить формовку кроны	<i>высокая</i>	–	<i>слабая</i>	–	–	3
22	Продолжительность декоративности	<i>до конца жизни</i>	–	<i>в период зрелости</i>	–	<i>до наступления зрелости</i>	5
23	Композиционные возможности использования	<i>солитеры, группы, аллеи</i>	<i>зеленые изгороди, бордюры, вертикальное озеленение</i>	<i>древесные массивы, рожи</i>	<i>линейные насаждения, опушки</i>	–	5

Примечание: ПК–переводной коэффициент

При озеленении улиц и для создания аллей высаживают деревья с пирамидальной (*кипарис вечнозеленый, Прямой, криптомерия японская, кипарисовик Лоусона, ликвидамбар смолоносный, пазания Харланда*), шаровидной (*дуб сизый, граб кавказский*) или конической (*пихта кавказская, ель восточная, сосна приморская*) формой кроны. Многим древесным растениям (*самшит колхидский, плоскочеточник восточный, лавр благородный, тис ягодный, бересклет японский, бирючина блестящая, смолосемянник разнолистный, кедр гималайский, граб кавказский*) путём обрезки придают любую геометрическую форму (топиарная обрезка). Вьющиеся растения (*плющ колхидский, ломонос Армана, глициния китайская, камписис крупноцветковый, трахелоспермум жасминовидный*) используются для вертикального озеленения (стен, беседок, террас), а также создания декоративных архитектурных сооружений (пергол, трельяжей, колонн).

В Абхазии число видов местных древесных растений составляет порядка 160. Число интродуцированных – более 2 тыс. таксонов. В озеленении, большей частью, используются интродуцированные древесные растения, а представители местных видов значительно реже. Декоративные особенности их практически не изучались. Хотя, многие из них обладают высокими декоративными качествами, экологической устойчивостью, что позволяет использовать в практике зеленого строительства [12].

Вместе с тем, в Абхазии, да и для всего ЧПК, до настоящего времени, не разработаны официально зарегистрированные шкалы оценки декоративной

ценности, как интродуцированных, так и дикорастущих растений природной флоры. Поэтому создание такой шкалы является актуальным и необходимо, прежде всего, для введения декоративных видов природной флоры в культуру.

По нашим исследованиям, наиболее важными (имеющими наибольший переводной коэффициент значимости – 5 баллов) показателями являются: форма кроны, продолжительность цветения, пыления, продолжительность декоративности. Наименьший балл имеют показатели – темпы роста и характер очищения ствола и кроны от сухих побегов (1 балл). К примеру, важными декоративными качествами кроны являются ее размеры и форма. Они играют первостепенную роль в архитектурных композициях, и их следует учитывать во время проектирования садово-парковых объектов и этот показатель нами оценивается в 5 баллов.

В таблице 2 приводятся данные комплексной оценки декоративности 6 видов древесных пород, полученные в результате использования шкалы (табл. 1).

Таблица 2

Комплексная оценка декоративности видов древесных растений

№ п/п	Показатели декоративности (ПД)	Древесные растения												ПК, балл
		Abies nordmanniana		Cunninghamia conishii		Taiwania cryptomerioides		Acer alborpurascens		Acer serrulatum		Fatsia polycarpa		
		БД	БИ	БД	БИ	БД	БИ	БД	БИ	БД	БИ	БД	БИ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Ствол	3	12	5	20	3	12	3	12	5	20	-	-	4
2	Темпы роста	4	4	5	5	5	5	3	3	4	4	5	5	1
3	Характер очищения ствола и кроны от сухих побегов	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	1
4	Структура и цвет коры	3	9	4	12	4	12	2	6	3	9	3	9	3
5	Форма кроны	4	20	4	20	4	20	1	5	4	20	5	25	5
6	Размер цветка, см	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
7	Размер соцветий, см	-	-	-	-	-	-	2	8	2	8	4	16	4
8	Окраска цветков	-	-	-	-	-	-	1	4	1	4	3	12	4

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕКОРАТИВНОСТИ И ...

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	Махровость цветка	–		–		–		–			–	–		3
10	Расположение цветков, стробилов	3	9	5	15	3	9	3	9	5	15	3	9	3
11	Цветки, стробилы	4	8	–		–		5	10	5	10	5	10	2
12	Аромат	–		–				–			–	–		2
13	Характер цветения, пыления	3	9	5	15	3	9	3	9	3	9	3	9	3
14	Продолжительность цветения, пыления	3	15	3	15	3	15	2	10	3	15	3	15	5
15	Размеры плодов, соплодий, шишек	5	20	2	8	2	8	2	8	3	12	4	16	4
16	Окраска плодов, шишек	5	20	4	16	4	16	3	12	3	12	–		4
17	Характер плодоношения, шишконошения	5	10	3	6	5	10	3	6	5	10	3	6	2
18	Сроки опадения плодов, шишек	2	4	4	8	4	8	4	8	5	10	–		2
19	Формы и размеры листьев, хвои	2	10	2	10	2	10	3	15	3	15	5	25	5
20	Окраска листьев, хвои	3	12	4	16	3	12	3	12	4	16	1	4	4
21	Устойчивость к формовке кроны	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	–		3
22	Продолжительность декоративности	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5
23	Композиционные возможности использования	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5
Балл итоговый (БИ)		–	223	–	227	–	207	–	198	–	234	–	211	–
Средневзвешенный БИ			9.70		9.87		9.00		8.60		10.17		9.17	–
Категория декоративности			высокая		высокая		высокая		средняя		высокая		высокая	–

Примечание: ПД – показатель декоративности, БД – балл оценки декоративности каждого показателя (величина, форма ствола; структура и цвет коры; окраска листьев, хвои и т. д.); ПК – переводной коэффициент весомости, определяющий значимость каждого признака; БИ – балл итоговый; КП – количество показателей; СБД – средневзвешенный показатель декоративности в баллах

Интегральная оценка декоративных качеств растений в табл. 2 рассматривается как общая сумма баллов индивидуальных оценок (БИ) по каждому критерию, умноженных на переводной коэффициент каждого критерия ($БИ = БД \times ПК$). Интегральная оценка декоративности отдельного таксона определена через величину среднего весомого коэффициента, т.е. средневзвешенного балла показателя декоративности (СБД), определяемого как сумма БИ поделенного на КП.

По нашим расчетам изученные виды древесных растений получили оценки в диапазоне от 8.60 до 10.17 баллов. По декоративным качествам древесные породы разделяются на три категории: древесные породы получившие оценку свыше 9.00 баллов отнесены к категории высокой декоративности, 9.00–7.00 баллов – к категории средней декоративности. Растения, получившие менее 7.00 баллов, отнесены к категории низкой декоративности. Из таблицы 3 видно, что все охарактеризованные древесные породы, за исключением вида *Acer alboburpurascens*, по средневзвешенным показателям декоративности, отнесены к категории высокой декоративности. Последний вид – к категории средней декоративности.

Декоративные древесные растения, получающие интегральную оценку средней и низкой категорий декоративности, но имеющие высокие оценки по отдельным критериям, могут рассматриваться как потенциальные доноры ценных признаков для использования в селекционной работе.

Следует отметить, что выявление декоративных достоинств и классификация древесных растений по категориям декоративности еще не достаточно для рекомендации использования их в озеленении. На качество декоративности растений серьезное влияние может оказать его биоэкологические особенности. В частности: особенности вида в отношении к экологическим факторам – световое довольствие, способность переносить затенение; почвенные условия – питательность и кислотность; необходимость в специальном уходе; водный режим – требовательность к влажности почвы, отношение к избыточному застою или проточному увлажнению; отношение к стрессовым воздействиям – морозостойкость, характер повреждения экстремальными зимними и летними температурами – поздневесенними заморозками; дымо- и газоустойчивость в городских условиях, влияние почвенных загрязнений; болезни и вредители (меры профилактики против повреждений) и др.

В то же время, не все древесные растения могут переносить городские условия. Для успешного произрастания им необходимо обладать достаточными показателями дымо-, пыле- и газоустойчивости, рекреационной устойчивости, нетребовательности к плодородию почв, засухоустойчивости, теневыносливости, а в условиях субтропиков еще и морозостойкости и т.д.

При подборе ассортимента для зеленого строительства необходимо учитывать не только декоративные характеристики, но и экологические особенности древесных растений. Поэтому, шкала оценки декоративности должна быть дополнена еще шкалой экологической устойчивости древесных растений, что существенно улучшит уровень оценки декоративных качеств растений и возможность эффективного использования их в зеленом строительстве.

Нами была разработана такая интегральная шкала оценки экологической устойчивости декоративных древесных растений (табл. 3).

Таблица 3

Шкала оценки экологической устойчивости декоративных древесных растений

№ п/п	Экологические показатели	Признаки			Весомость показателя, балл
		Баллы			
		3	2	1	
1	Отношение к свету (освещенности)	светлолюбивые	теневыносливые	тенелюбивые	3
2	Требовательность к влажности воздуха	низкая	средняя	высокая	2
3	Требовательность к почвенным условиям	низкая	средняя	высокая	3
4	Ветро- и снегоустойчивость	высокая	средняя	низкая	2
5	Морозоустойчи- вость	высокая (более – 15°С)	средняя (-10–15°С), (в непродолжи- тельное время)	низкая (не ниже – 10°)	2
6	Засухоустойчи- вость	высокая	средняя	низкая	2
7	Жароустойчивость	более +40°С	30–40°С	–	2
8	Устойчивость к соленым брызгам	высокая	средняя	низкая	1
9	Устойчивость к загрязнению воздуха	высокая	средняя	низкая	2
10	Устойчивость к болезням и вредителям	высокая	средняя	низкая	3
11	Соответствие типичных сроков наступления фенофаз к местным природным условиям	полное	близкое	не соответствие	3
12	Долговечность	высокая	средняя	низкая	3
13	Способность к поглощению шума	высокая	средняя	низкая	2
14	Способность к задержанию пылевых частиц	высокая	средняя	низкая	2
15	Способность поглощать атмосферные вредные вещества	высокая	средняя	низкая	2

Экологическая устойчивость декоративных древесных растений определялась по 15 показателям с переводными коэффициентами значимости отдельного показателя и оценкой каждого признака показателя от 1 до 3 баллов. В этой шкале отнесение показателя «долговечность» растения к экологическому фактору условное, оно, скорее всего, понятие биологическое (возраст). Однако, долговечность растения во многом определяет продолжительность декоративности, важнейшего признака декоративных достоинств того или иного таксона.

В таблице 4 приводятся данные, характеризующие комплексную оценку экологической устойчивости 6 видов древесных растений к факторам среды.

Таблица 4
Оценка экологической устойчивости древесных пород

№ п/п	Экологические показатели	Древесные растения												ПК, балл
		<i>Abies nordmanniana</i>		<i>Cunninghamia conishii</i>		<i>Taiwania cryptomerioides</i>		<i>Acer alborpurpurens</i>		<i>Acer serrulatum</i>		<i>Fatsia polycarpa</i>		
		БП	БИ	БП	БИ	БП	БИ	БП	БИ	БП	БИ	БП	БИ	
1	Отношение к свету (освещенности)	2	6	3	9	3	9	2	6	3	9	3	9	3
2	Требовательность к влажности воздуха	1	2	2	4	1	2	2	4	2	4	2	4	2
3	Требовательность к почвенным условиям	1	3	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3
4	Ветро- и снегоустойчивость	3	6	3	6	3	6	1	2	3	6	1	2	2
5	Морозоустойчивость	3	6	2	4	3	6	1	2	2	4	1	2	2
6	Засухоустойчивость	2	4	2	4	1	2	1	2	2	4	2	4	2
7	Жароустойчивость	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
8	Устойчивость к соленым брызгам	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1
9	Устойчивость к загрязнению воздуха	2	4	2	4	2	4	2	4	3	6	2	4	2
10	Устойчивость к болезням и вредителям	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	2	6	3

11	Соответствие типичных сроков наступления фенофаз к местным природным условиям	3	9	3	9	3	9	1	3	3	9	1	3	3
12	Долговечность	3	9	3	9	3	9	2	6	2	6	1	3	3
13	Способность к поглощению шума	3	6	3	6	3	6	2	4	2	4	1	2	2
14	Способность к задержанию пылевых частиц	3	6	3	6	3	6	1	2	2	2	2	4	2
15	Способность поглощать атмосферные вредные вещества	3	6	3	6	3	6	1	2	1	2	1	2	2
Балл итоговый (БИ)		–	81	–	88	–	85	–	57	–	77	–	56	–
Средневзвешенный БИ		–	5.4	–	5.87	–	5.67	–	3.8	–	5.13	–	3.73	–
Категория устойчивости		высокая		высокая		высокая		низкая		высокая		низкая		–

В этой шкале итоговые баллы устойчивости растений (БПхПК) составили от 56 до 88, средневзвешенные баллы итоговые или баллы экологической устойчивости растений колеблются от 3.80 до 5.87. Два вида – *Acer alboburpurascens* и *Fatsia polycarpa* получили менее 4.0 баллов. Нами оба вида отнесены к низкой категории устойчивости, хотя по декоративным качествам они были включены в категории средней и высокой декоративности (табл. 2).

Следует подчеркнуть, что для подбора ассортимента и создания декоративных древесно-кустарниковых групп, устойчивых к воздействию экологических факторов и антропогенной среды, в урбоусловиях, целесообразнее использовать местные или уже хорошо акклиматизированные виды растений.

Обращает на себя внимание то, что с функциональной точки зрения декоративные растения могут характеризоваться отдельными особенностями положительными (фитонцидность) или отрицательными (ядовитость, аллергенность, способность засорять территорию, в т.ч. самосевом) свойствами, учет которых позволяет эффективно использовать их в ландшафтных композициях различного целевого назначения. К примеру, *Rhus chinensis* и *Platanus x acerifolia* относятся к древесным растениям высокой категории декоративности, но первый вид ядовитый, другой – аллергенный. Использование их в озеленение сопряжено с риском, поэтому применение этих видов требует творческого подхода и обоснованием функциональной необходимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Классификация декоративности древесных растений должна осуществляться на основе методики комплексного подхода интегральной оценки 23 показателей декоративных признаков;
2. Классификация декоративности древесных растений должна быть дополнена шкалой оценки экологической устойчивости каждого таксона с использованием 15 показателей, что существенно улучшить уровень оценки декоративных качеств растений и возможность эффективного их использования в зеленом строительстве.

Список литературы

1. Рубцов Л. И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре: справочник / Л. И. Рубцов. – Киев: Наукова Думка, 1977. – 272 с.
2. Остапко В. М. Шкала оценки декоративности пертофитных видов флоры юго-востока Украины / В. М. Остапко, Н. Ю. Кунец // Интродукція рослин. – Киев: 2009. – № 1. – С. 18–22.
3. Былов В. Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений / В. Н. Былов // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. – М.: 1978. – С. 7–31.
4. Рязанова Н. А. Оценка декоративности кленов в Уфимском Ботаническом саду / Н. А. Рязанова, В. П. Путенихин // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – Вып. 44, ч. IV. – С. 121–128.
5. Зыкова В. К. Комплексная сортооценка *Syringa vulgaris* L. / В. К. Зыкова // Сборник научных трудов ГНБС. – 2014. – Т. 13. – С. 6–99.
6. Крекова Я. А. Оценка декоративных признаков у видов рода *Picea* Dieterg. в северном Казахстане / Крекова Я. А., Данчева А. В., Залесов С. В. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 – 1. [Электронный ресурс]. – 2015. Режим доступа: www.science-education.ru/121-17204.
7. Котелова Н. В. Оценка декоративности деревьев и кустарников по сезонам года / Н. В. Котелова, О. Н. Виноградова // Физиология и селекция растений и озеленение городов. – М.: МЛТИ, 1974. – С. 37–44.
8. Мурзабулатова Ф. К. О методике оценки декоративности гортензии (*Hydrangea* L.) / Ф. К. Мурзабулатова, Н. В. Полякова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, №1. – С. 266–270.
9. Терещенко С. И. Оценка декоративности видов и сортов сирени / С. И. Терещенко // Тез. докл. междунар. науч. конф. – Донецкий ботан. сад АН Украины «Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития». – Донецк, 1994. – С. 276–277.
10. Колесников А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М.: 1974. – 704 с.
11. Карпун Ю. Н. Субтропическая декоративная дендрология / Ю. Н. Карпун. – Санкт-Петербург: ВВМ, 2010. – 582 с.
12. Бебия С. М. Декоративные древесные растения Абхазии, цветущие осенью, зимой и ранней весной. / Бебия С. М. – Сухум, 2017. – 103 с.

**TO THE METHODOLOGY OF COMPLEX ESTIMATION OF DECORATIVITY
AND ENVIRONMENTAL STABILITY OF WOODY PLANTS ON THE BLACK
SEA COAST OF THE CAUCASUS**

Bebia S. M., Dzhakonija E. F., Titov I. Yu.

*Botanical Institute of the Academy of Sciences of Abkhazia, Suhum, Abkhazia
E-mail: bebia_serger@mail.ru*

An objective evaluation of the decorative advantages of woody plants can be determined only by evaluating a significantly larger number of morphological features of decorativeness. Proceeding from this, for a comprehensive assessment of the decorative advantages of a particular taxon, we used a new modified integrated method for assessing the decorative characteristics of woody plants with the translation of all indicators of indicators into relative values.

A scale for assessing the decorativeness of native and introduced woody plants was developed and proposed, including 23 indices, respectively, characterizing the decorative qualities of the trunk, crown, leaf, flower, fetus and the ecological features of the taxon as a whole.

When selecting the assortment for green building, it is necessary to take into account not only the decorative characteristics, but also the ecological characteristics of woody plants. Therefore, the scale of assessing decorativeness should be supplemented by a scale of ecological sustainability of woody plants, which will significantly improve the level of assessment of decorative qualities of plants and the possibility of their effective use in green construction. In the scale of integrated assessment of environmental sustainability of plants, including 15 main indicators.

The article discusses the results of a comprehensive assessment of the decorative and ecological sustainability of 6 species of tree species (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach), *Cunninghamia konishii* Hayata, *Taiwania cryptomerioides* Hayata, *Acer albopurpurascens* Hayata, *Acer serrulatum* Hayata, *Fatsia polycarpa* Hayata) obtained using the proposed methodology.

According to the decorative qualities, tree species are divided into three categories: taxons rated above 9.00 points are classified as high decorative, within the range of 8.9–7.0 points, to the category of average decorativeness. Taxa with indicators less than 7 points – to the category of low decorativeness.

According to ecological sustainability, taxons that received weighted average scores more than 5.0 were classified as high resistance categories, with an index of 4.0–4.9 points – to the category of average sustainability. Woody plants that received less than 4.0 points are classified as a low category of environmental sustainability.

Two species – *Acer albopurpurascens* and *Fatsia polycarpa* – received less than 4.0 points. We both are classified as a low category of resistance, although for decorative qualities they were included in the category of medium and high decorativeness.

To select the assortment and create decorative wood-shrubby groups that are resistant to environmental factors and anthropogenic environment, in urban situations, it is more appropriate to use aboriginal species or already well acclimatized plant species.

From a functional point of view, ornamental plants can be characterized by separate features of positive (phytoncidity) or negative (poisonous, allergenic, ability to clog the territory, including self-seeding properties), the account of which allows them to be effectively used in landscape compositions for various special purposes. For example, *Rhus chinensis* Mill. and *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. belong to woody plants of a high category of decorative, but the first species is poisonous, the other is allergenic. Their use in gardening is fraught with risk, so the application of these types requires a creative approach and justification of the functional necessity.

Decorative woody plants that receive an integral assessment of the average and low categories of decorativeness, but who have high grades for individual criteria, can be considered as potential donors of valuable traits for use in selection work.

Keywords: estimate, scale, decorativeness, ecological stability, woody species.

References

1. Rubtsov L. I. *Trees and shrubs in landscape architecture: A reference book*, 272 p. (Kiev, Naukova Dumka, 1977).
2. Ostapko V. M., Kunets N. Yu. Scale of assessing the decorativeness of perthophyte species of the flora of the southeast of Ukraine, *Introduction of plants*, **1**, 18 (2009).
3. Bylov V. N. Fundamentals of comparative assessment of decorative plants, *Introduction and selection of flower-decorative plants*, **7** (M., 1978).
4. Ryazanova N. A., Putenikhin V. P. An estimation of ornamentality of maples in the Ufa Botanical Garden, *Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy*, **44**, **IV**, 121 (2011).
5. Zykova V. K. The complex sort evaluation of *Syringa vulgaris* L., *Collection of scientific works of the State Nikite Botanical Garden*, **13**, 6 (2014).
6. Krekova Y. A., Dancheva A. V., Zalesov S. V. Assessment of decorative features in species of the genus *Picea* Dieter. in northern Kazakhstan, *Modern problems of science and education*, **1** (2015).
7. Kotelova N. V., Vinogradova O. N. An estimation of ornamentality of trees and shrubs on seasons of the year, *Physiology and selection of plants and gardening of cities*, 37 (Moscow, MLTI, 1974).
8. Murzabulatova F. K., Polyakova N. V. On the method for assessing the decorative of *Hydrangea* (*Hydrangea* L.), *Izvestiya (News) of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **16**, **1**, 266 (2014).
9. Tereshchenko S. I. An estimate of the decorativeness of species and varieties of *Syringa*, *Tez. of the reports, Intern. Sci. Conf. Donetsk botan. garden of the Academy of Sciences of Ukraine "Industrial botany: state and development prospects"*, 276 (Donetsk, 1994).
10. Kolesnikov A. I. *Decorative dendrology*, 704 p. (M., 1974).
11. Karpun Yu. N. *Subtropical ornamental dendrology*, 582 p. (St.-Petersburg, VVM Ltd Publishing, 2010).
12. Bebia S. M. *Decorative woody plants of Abkhazia, blooming in autumn, winter and early spring*. 103 p. (Suhum, 2017).

УДК 616:619 574.4

НЕКОТОРЫЕ МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ У МЫШЕЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ЗАРАЖЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ДОЗАМИ *T. SPIRALIS*

Жданова О. Б.^{1,2}, Написанова Л. А.¹, Мутушвили Л. Р.², Ашихмин С. П.²

*¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт паразитологии
им. К. И. Скрябина, Москва, Россия*

*ГБОУ ВПО Кировский государственный медицинский университет Минздрава, Киров, Россия
E-mail: oliabio@yandex.ru*

Изучены некоторые морфо-функциональные изменения при трихинеллезе у мышей. В экспериментах на половозрелых лабораторных мышах установлено, что наибольшие различия в группах здоровых и инвазированных животных отмечены в группе экспериментального моделирования сильного заражения (250 ± 20 личинок трихинелл). Мыши отличались меньшей подвижностью в тесте «открытое поле», уменьшалось время груминга, что, по нашему мнению, было обусловлено механическим и токсическим воздействием возбудителя на мышцы и нервную систему животного. Наблюдали значительное уменьшение времени при принудительном плавании с нагрузкой у зараженных мышей. Обнаружены изменения массы и формы сердца: у зараженных трихинеллами в дозах 50 ± 5 и 150 ± 15 личинок – конусовидная, при сильной интенсивности инвазии (ИИ) – эллипсовидная. При исследовании массы сердца установлено, что при средней и высокой ИИ она уменьшается, пропорционально уменьшению массы тела. При инвазии 50 ± 5 и 150 ± 15 личинками трихинелл масса печени практически не изменяется, а масса селезенки незначительно уменьшается; при средней ИИ, при высокой ИИ отличия ярко выражены. Применение используемых методов может быть перспективным для оценки терапевтической активности оригинальных экспериментальных лекарственных форм препаратов и разработки схем лечения трихинеллеза.

Ключевые слова: мыши, терапия, паразит, трихинелла, сердце, печень, селезенка.

ВВЕДЕНИЕ

Мышиные наиболее часто используются для моделирования гельминтозов, и трихинеллеза в частности. Для лабораторных целей используют чаще всего белую мышь *Mus musculus L.*, которая является альбиносом серой, домашней мышью. Главная цель заражения мышей — использование их в качестве подопытных животных в доклинических исследованиях и модельных организмов при изучении заболеваний. Кроме того, они используются для накопления личинок трихинелл при получении антигена, что предопределено такими факторами, как высокая скорость их размножения и относительно низкая стоимость. Трихинеллез является наиболее актуальным в изучении гельминтозом из группы зоонозных нематодозов, характеризующийся лихорадкой, миалгиями, отеком лица, кожными сыпями, эозинофилией, а при тяжелом течении — поражением внутренних органов и нервной системы [1, 2].

Важным направлением в паразитологии является создание профилактических препаратов, что особенно актуально в отношении антропоозоонозных заболеваний. Разработка средств для профилактики трихинеллеза является важной и пока еще нерешенной проблемой [2, 4, 14–16]. Важно учитывать, что использование лабораторных животных в доклинических исследованиях без учета их физиологического состояния приводит к тому, что исследователи получают ложные результаты. Сложность учета морфо-функциональных изменений при трихинеллезе у мышей обусловлена, прежде всего, малыми их размерами, а также, биологическими особенностями различных видов линий [5–8, 10]. Большинство современных линий лабораторных мышей являются гибридами разных подвидов, что следует учитывать при моделировании гельминтозов, т.к. ряд параметров жизнеспособности и устойчивости к заражению могут варьироваться. [4, 5, 10].

Таким образом, проведенные нами исследования были направлены на изучение ряда морфологических параметров органов (сердца, селезенки и печени) и особенностей поведения в тестах «поведения в открытом поле», «принудительного плавания с 10 % грузом от массы тела» при трихинеллезе у экспериментально зараженных лабораторных животных, с разной интенсивностью инвазии, с целью оценки их перспективности в доклинических исследованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все эксперименты выполнены в соответствии с «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств» [12]. Исследования проводились на 40 половозрелых мышах 2-х месячного возраста. Животные были разделены группы: контрольную (интактная, n=10, К-группа) и опытные (n=30), мыши которые подвергались инвазированию личинками трихинелл в дозах 50 ± 5 , 150 ± 15 и 250 ± 20 , полученных перевариванием по методу П. А. Владимировой, отмыты и подсчитаны [3]. Наблюдение продолжали на протяжении 75 дней.

С целью изучения влияния трихинелл на жизнедеятельность животных нами были исследованы особенности «поведения в открытом поле». Тест заключается в количественном измерении компонентов поведения животного в новом открытом пространстве, что позволяло оценить динамику и выраженность элементарных поведенческих актов у грызунов в стрессогенных условиях, возникающих в ответ на помещение лабораторного животного в установку, имеющую большую площадь и интенсивность освещения, чем место его повседневного содержания. Мышей помещали в центр «Открытого поля» и засекали время выхода из центрального квадрата. Эмоциональный статус животного оценивали по числу болюсов. Подсчитывали число пересеченных квадратов как показатель горизонтальной двигательной активности, число вертикальных стоек – показатель вертикальной двигательной активности, число дефекаций и уринаций, рассчитывали сумму дефекаций и уринаций. Определяли время реакции замирания, время реакции обнюхивания и время груминга, для изучения возможного влияния токсинов и антигенов трихинелл на центральную нервную систему [9]. Так как значения времени груминга, числа дефекаций и уринаций не подчинялись закону

нормального распределения, сравнение их средних проводили с помощью критерия знаков. При исследовании физиологии поведения крыс методом принудительного плавания с 10 % грузом от массы тела, каждое животное по одному помещали в цилиндр с водой, диаметром 18 см, высотой 40 см, т.е. достаточного размера для того, чтобы они в нем могли свободно плавать. Температуру воды поддерживали в пределах +29 +30 °С. [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента изучалось поведение мышей и выяснилось, что каждое животное совершало движения в различных направлениях, сочетания этих движений разнообразны: были серии пробежек вдоль стенки ОП и только потом – различные повороты и наоборот. Наибольшие различия в группах здоровых и инвазированных мышей отмечены в группе экспериментального моделирования сильного заражения (250±20 личинок трихинелл). Мыши отличались меньшей подвижностью, уменьшалось время груминга, что, по нашему мнению, было обусловлено механическим и токсическим воздействием возбудителя на мышцы и нервную систему.

Инвазированные трихинеллами мыши показали меньшую продолжительность плавания (здоровые животные плавают с 10 % грузом от массы тела более 12 минут, крысы умеренно инвазированные гельминтами плавали 8,5±3 минуты, инвазированные трихинеллами в средней дозе менее 5 минут, при сильной инвазии мыши начинают тонуть вскоре после погружения их в воду, т.е. на плаву находились не более минуты даже при отсутствии груза).

Отмечали увеличение частоты дыхательных движений (ЧДД) и пульса после принудительного плавания: на 8 % дыхания и на 5 % пульса при средней интенсивности инвазии (ИИ), при высокой ИИ пульс возрастал на 7,5 %, а дыхание 11,5 %, что свидетельствует о напряжении систем, обеспечивающих гомеостаз. В связи с тем, что помимо поражения мышц, адаптационные резервы снижены у всех животных, инвазированных трихинеллами, изменяются функции ряда органов и систем. После забоя животных были проведены морфометрические исследования органов иммуногенеза (табл. 1).

Таблица 1
Масса тела и некоторые органые показатели здоровых и зараженных трихинеллами нелинейных мышей (P<0,05*)

№ п/с	Количество личинок на животное	Возраст (сут)	Масса тела при забое	Сердце	Селезенка	Печень
1	50±5	65	21,2±0,51*	0,38±0,06*	0,210±0,05*	1,24±0,55*
2	150±15	60	23, 2±0,62*	0,37±0,08*	0,165±0,04*	1,22±0,57*
3	250±20	65	20,1±0,53*	0,37±0,05*	0,140±0,05*	1,11±0,65*
	Контроль	65	24,2±0,57*	0,38±0,05*	0,210±0,05*	1,24±0,45*

При постмортальном исследовании было проведено полное макроморфометрическое описание сердца, селезенки и печени. После извлечения сердце освобождали от сгустков крови и взвешивали на электрических весах, тем самым определяя абсолютную массу. После взвешивания проводилось измерение длины сердца (от места отхождения аорты до верхушки), ширины (расстояние между боковыми поверхностями сердца на уровне оснований желудочков) и толщины сердца (наибольший переднезадний размер, на уровне основания желудочков). На основе полученных результатов определялась форма сердца методом визиографии с определением индекса: сердца $ИС = (\text{ширина} / \text{длина}) \times 100 \%$, сердца. Если индекс был до 65 %, то форму сердца считали конусовидной, от 65 % до 75 % – эллипсовидной, и более 75 % – шаровидной.

При исследовании мышц контрольной (К) и опытной (ОП) групп были получены следующие результаты: $ИС(К)=57 \%$; $ИС(ОП-1)=60 \%$; $ИС(ОП-2)=62 \%$; $ИС(ОП-3)=65 \%$. Следовательно, форма сердца у здоровых особей и животных, зараженных трихинеллами в дозах 50 и 150 личинок – конусовидная, при сильной ИИ – эллипсовидная. При патанатомических исследованиях многие авторы указывают на развитие миокардитов при трихинеллезе, отмечают миогенную дилатацию желудочков, особенно при осложненных течениях [2, 13, 14].

При исследовании селезенки и печени установлено, что при высокой ИИ масса вышеуказанных органов уменьшается, пропорционально уменьшению массы тела (табл.1). При инвазии 50 и 150 личинками трихинелл масса печени практически не изменяется, а масса селезенки незначительно уменьшается при средней ИИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время большинство экспериментальных работ по проблемам трихинеллеза (изучение особенностей патогенеза инвазии, скрининг и доклиническое изучение специфических лечебных и профилактических препаратов) проводится на лабораторных белых мышах, с оценкой ИИ путем подсчета личинок. В то же время тест «принудительное плавание с 10 % грузом от массы тела» позволяет оценить степень пораженности мышц и может являться прижизненным маркером уровня (интенсивности) инвазии.
2. Выявлены закономерности манифестации при увеличении дозы личинок, основных качественных и количественных морфо-функциональных параметров при экспериментальной инвазии *T. spiralis* в виде изменения массы тела животного и некоторых органов. Известно, что личинки не развиваются в миокарде из-за особенностей структуры кардиомиоцитов, однако при высокой ИИ, механическое и токсическое воздействие трихинелл приводят к развитию миокардита, с последующими дистрофическими изменениями и развитием некроза мышечных волокон [2, 13, 14]. Таким образом ИС может применяться для оценки тяжести патологических процессов в миокарде при моделировании инвазии.
3. Высокая информативность, малая трудоемкость и быстрое осуществление тестов «поведение в открытом поле» и «принудительное плавание животных»

обеспечивают ускорение оценки течения трихинеллеза и снижение затрат на проведение исследований.

Список литературы

1. СанПиН 3.2.3215-14 "Профилактика паразитарных болезней на территории Российской Федерации".
2. Березанцев Б. А. Трихинеллез / Березанцев Б. А. – Лен.Мед., 1974. – 164с.
3. Владимирова П. А. Влияние различных факторов на ускорение процесса переваривания мышц в искусственном желудочном соке для выявления личинок трихинелл в свинине. Диссертация на соискание уч. степени кан. вет. наук. / Владимирова П. А. – М., 1965 – 167 с.
4. Жданова О. Б. Паразитозы плотоядных (патогенез, иммуноморфология и диагностика): дис. ... д-ра биол. наук. / Жданова О. Б. – М., 2007. – 429 с.
5. Мартусевич А. К. Биокристалломика в паразитологии: современное состояние, возможности и перспективы / Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Написанова Л. А. // Российский паразитологический журнал. – 2012. – № 4. – С. 77–88.
6. Мартусевич А. К. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных / Мартусевич А. К., Жданова О. Б. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион – 2006. – № 1. – С. 30–39.
7. Мартусевич А. К. О кристаллогенезе биосубстратов животных / Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Зверева Т. А. // Вятский медицинский вестник. – 2006. – № 3–4. – С. 33–38.
8. Мартусевич А. К. Особенности свободного кристаллогенеза мочи здоровых и зараженных гельминтами грызунов / Мартусевич А. К., Жданова О. Б. // Труды Всероссийского НИИ гельминтологии им. К. И. Скрябина. – 2007. – Т. 45. – С. 153.
9. Мартусевич А. К. Анализ физико-химических свойств антигенов некоторых гельминтов как технология паразитологической метабомики. / Мартусевич А. К., Жданова О. Б., Хайдарова А. А., Бережко В. К., Написанова Л. А. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–7. – С. 1437–1441.
10. Мутошвили Л. Р. Изучение активности животных в тестах принудительного плавания и открытого поля при нематодозах. / Мутошвили Л. Р., Жданова О. Б., Ашихмин С. П. // В сборнике: Современные Научно-Практические Достижения в Ветеринарии Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 43–45.
11. Написанова Л. А. Трихинеллез: некоторые аспекты его мониторинга и профилактики. / Написанова Л. А., Жданова О. Б., Ашихмин С. П., Окулова И. И., Андрянов О. Н., Хайдарова А. А. // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2016. – № 17 (17). – С. 280–282.
12. Миронова А. Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / А. Н. Миронова и др. – Минздрав РФ, «Гриф», Москва – 2012. – 944 с.
13. Тихонова Е. П. Случай инфекционного миокардита при трихинеллезе / Тихонова Е. П., Кузьмин Т. Ю., Сергеев И. В. и др. // Сибирское обозрение. – 2014. – С. 91–100.
14. Скворцов В. В. Миокардиты / Скворцов В. В., Одинцов В. В., Тумаренко А. В. // Российский кардиологический журнал – 2009. – №1 (75) – С.87–96.
15. Zhdanova O. B. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions International / Zhdanova O. B., Haidarova A. A., Napisanova L. A., Rossohin D., Lozhenicina O. // Journal of High Dilution Research. – 2015. – Т. 14, № 2. – С. 60–61.
16. Rudneva O. V. The Role Of Immunocorrection At The Treatment Of Experimental Trichinosis / Rudneva O. V., Napisanova L. A., Zhdanova O. B., Rassohin D. V. // Gistologiya. klinicheskaya i ehksperimental'naya morfologiya, sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 30-letiyu Kirovskogo GMU. – 2017. – S. 69–70.

SOME MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL FEATURES OF MICE EXPERIMENTAL INFECTED *T. SPIRALIS* IN THE DIFFERENT DOSES

Zhdanova O. B.^{1,2}, Napisanova L. A.¹, Mutoschvili L. R.², Ashichmin S. P.²

¹All-Russian Scientific Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation

²Kirov State Medical University, Kirov, Russian Federation

E-mail: oliabio@yandex.ru

Trichinellosis is one of the most dangerous zoonosis. The disease caused by the gastrointestinal nematode *Trichinella spiralis* occurs in humans, domestic animals and wild animals. The best way to prevent trichinosis is to fully cook meat. But many meat delicious have been prepared without high temperature. And in this case it is necessary improve diagnostics of alive animals. The severity of symptoms caused by larval migration from the intestines depends on the number of larvae produced. As the larvae migrate through tissue and vessels, the body's inflammatory response results in muscle pain, fever, and weakness.

They may very rarely cause enough damage to produce serious neurological deficits from antigens of worms entering the brain. Trichinosis can be fatal depending on the number of the larvae; death can occur 4–6 weeks after the infection, and is usually caused by myocarditis. As is desirable with most diseases, early treatment is better and decreases the risk of developing disease. If larvae do encyst in skeletal muscle cells, they can remain infectious for months to years. That is why it is necessary study some symptoms of this stage for optimal therapy and prophylaxis.

Infection is typically treated with antiparasitic medication also the immunostimulatory drugs in recent years are widely used for helminthiasis in parasitology. Laboratory mice used for study therapy against trichinosis, that can affect the muscle phase of the parasite *T. spiralis* in mice. An assay was carried out on 40 white outbred mice. These were divided into 4 groups of ten mice each.

The group 1 was a control; mice of the group 2 were inoculated with a dose of 50 ± 5 units of *T. spiralis* larva per mouse; mice of the group 3 – 150 ± 15 larvae, mice of the group 4 – 250 ± 20 laevae.

There was the comparison of the mass of mice and some organs: heart, liver and spleen. In particular, the greatest variations are registered by us in the analysis of mass of heart, and form of heart in mice with dose 250 ± 20 larvae / mous (high invasion HI)

The result of behavior in the open field and swimming were different from healthy animals.

The behavior of mice of the 4-th group (HI) was different from another group: they moved a little and the grooming decreased. The time swimming of healthy mice was more than infected mice. Also mice of 4-th group floated less a minute and quickly began to sink.

Regularities of a demonstration of the key qualitative and quantitative morfo-functional parameters at an experimental invasion of *T. spiralis* are revealed.

Keywords: mice, therapy, parasite, *T. spiralis*, heart, liver, spleen

References

1. SanPiN 3.2.3215-14 "Профилактика паразитарных болезней на территории Российской Федерации".
2. Berezancev B. A. *Trihinellez*, 164 s. (Len.Med., 1974).
3. Vladimirova P. A. *Vliyanie razlichnyh faktorov na uskorenie processa perevarivaniya myshc v iskusstvennom zheludochnom soke dlya vyyavleniya lichinok trihinell v svinine*. Dissertaciya na soiskanie uch. stepeni kan. vet. nauk., 167 s. (M., 1965).
4. Zhdanova O. B. *Parazitozy plotoyadnyh (patogenez, immunomorfologiya i diagnostika)*: dis. ... d-ra biol. Nauk, 429 s. (M., 2007)
5. Martusevich A. K., Zhdanova O. B., Napisanova L. A. Biokristallomika v parazitologii: sovremennoe sostoyanie, vozmozhnosti i perspektivy, *Rossijskij parazitologicheskij zhurnal*, **4**, 77 (2012).
6. Martusevich A. K., Zhdanova O. B. Informativnost' issledovaniya svobodnogo kristalloobrazovaniya pri zoonozah na modeli laboratornyh zhivotnyh, *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region*, **1**, 30 (2006).
7. Martusevich A. K., Zhdanova O. B., Zvereva T. A. O kristallogeneze biosubstratov zhivotnyh, *Vyatskij medicinskij vestnik*, **3-4**, 33 (2006).
8. Martusevich A. K., Zhdanova O. B. osobennosti svobodnogo kristallogeneza mochi zdorovyh i zarazhennyh gel'mintami gryzunov, *Trudy Vserossijskogo NII gel'mintologii im. K. I. Skryabina*, **45**, 153 (2007).
9. Martusevich A. K., Zhdanova O. B., Hajdarova A. A., Berezhko V. K., Napisanova L. A. Analiz fiziko-himicheskikh svojstv antigenov nekotoryh gel'mintov kak tekhnologiya parazitologicheskoy metabolomiki, *Fundamental'nye issledovaniya*, **12-7**, 1437 (2014).
10. Mutoshvili L. R., Zhdanova O. B., Ashihmin S. P. Izuchenie aktivnosti zhivotnyh v testah prinuditel'nogo plavaniya i otkrytogo polya pri nematodozah. V sbornike: *Sovremennye nauchno-prakticheskie dostizheniya v veterinarii, Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, 43 (2017).
11. Napisanova L. A., Zhdanova O. B., Ashihmin S. P., Okulova I. I., Andreyanov O. N., Hajdarova A. A. Trihinellez: nekotorye aspekty ego monitoringa i profilaktiki, *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami*, **17 (17)**, 280 (2016).
12. Mironova A. N. i dr., *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovanij lekarstvennyh sredstv*, 944 s. (Minzdrav RF, «Grif», Moskva, 2012).
13. Tihonova E. P., Kuz'min T. YU., Sergeev I. V. i dr. Sluchaj infekcionnogo miokardita pri trihinelleze, *Sibirskoe obozrenie*, 91 (2014).
14. Skvorcov V. V., Odincov V. V., Tumarenko A. V. Miokardity, *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*, **1 (75)**, 87 (2009).
15. Zhdanova O. B., Haidarova A. A., Napisanova L. A., Rossihin D., Lozhnicina O. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions, *International Journal of High Dilution Research*, **14, 2**, 60 (2015).
16. Rudneva O. V., Napisanova L. A., Zhdanova O. B., Rassihin D. V. The role of immunocorrection at the treatment of experimental trichinosis, *Gistologiya. klinicheskaya i ehksperimental'naya morfologiya*, sbornik trudov vtoroj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 30-letiyu Kirovskogo GMU, 69 (2017).

УДК 612.821; 612.6.05

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАЛЬЦЕВОЙ ДЕРМАТОГЛИФИКИ И ТЕМПЕРАМЕНТА

Ибрагимова Э. Э.

*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Россия
E-mail: evelina_biol@mail.ru*

Проведено исследование взаимосвязи двух генетически детерминированных признаков – темперамента и дерматотипа, установленных на основе психологического тестирования и анализа дерматоглифов пальцевых фаланг. Независимо от принадлежности к определенному типу темперамента, у всех обследуемых выявлены все три вида фенотипов папиллярных узоров ALW в разном соотношении. У представителей с сильным типом нервной системы (холерики, сангвиники и флегматики) доминирующим фенотипом были петлевые папиллярные узоры (66,92 %; 72,72 %; 70 %), в меньшей мере встречались завитковые (21,15 %; 22,3 %; 21,25 %) и дуговые узоры (11,92 %; 15 %; 8,75 %). Обследуемые с меланхолическим типом темперамента имели статистически значимые различия ($p < 0,001$) частоты встречаемости фенотипа W (46,25 %). Установлено, что основными морфотипами папиллярных узоров, характерных для представителей с сильным типом нервной системы явились петлевые узоры: LW и 10L, со слабым типом нервной системы – WL и ALW.

Ключевые слова: темперамент, нервная система, дерматотип, фенотип, папиллярные узоры, A – дуги, L – петли, W – завитки.

ВВЕДЕНИЕ

Онтогенез – процесс реализации генетической программы индивида, полученной от родителей. Механизм реализации данной программы сложен и зависит от воздействия средовых факторов, вносящих свои физиологические коррективы. К числу генетически детерминированных свойств и признаков индивидуума относятся темперамент и дерматотип, в силу чего их можно отнести к категории онтогенетических маркеров. Никитюк Б. А. предложил делить генетически детерминированные маркеры организма на условные и абсолютные [1], согласно указанной классификации, признаки дерматотипа относятся к абсолютным маркерам, а темперамент – к условным.

Темперамент – индивидуальное свойство каждого человека, отражающее его психологические особенности, характеризующие личность человека со стороны динамики его психических процессов, к которой относятся: а) сила психических переживаний, их глубина или поверхностность, б) скорость протекания психических процессов и в) степень эмоциональной возбудимости, придающая поведению человека своеобразную эмоциональную окраску. По мнению Бабынина Э. В. «генетическая архитектура темперамента имеет сложный и многоуровневый характер. Вариабельность свойств темперамента является

продуктом взаимодействия большого числа генов, а также средовых факторов» [2]. Возможно, сложность психофизиологической природы темперамента обуславливает трудности в четкой идентификации психологических особенностей личности к конкретному типу темперамента (холерик, сангвиник, флегматик или меланхолик), в этой связи довольно часто имеет место сочетание различных типов темперамента.

Дерматотип – определенный, генетически детерминированный, тип папиллярных узоров ногтевых фаланг пальцев, формирующийся с четвертой недели внутриутробного развития и совпадающий по времени с закладкой и развитием нервной системы из эктодермального зародышевого листка [3]. Общность происхождения проявляется в тесных корреляционных связях между показателями дерматоглифики и центральной нервной системы [4], что может обуславливать сочетанные поражения кожных и нервных структур. В частности, установлено, что при нарушениях процесса эмбриогенеза возникают сочетанные нейрокожные поражения – факоматозы, проявляющиеся в поражении кожного покрова и нервных структур [5]. В связи с этим кожные узоры считают маркером морфологической структуры головного мозга [4]. Вместе с тем следует отметить, что особенности папиллярных узоров, будучи генетически детерминированными, формируются в результате воздействия ряда факторов (формы рук и подушечек, иннервации, кровоснабжения, водной насыщенности и др.) [6].

В настоящее время установлено, что фенотип папиллярных узоров является онтогенетическим маркером комплекса признаков организма, несущих информацию, закодированную в генах [7]. Данная особенность позволила установить важное диагностическое свойство морфотипов гребешковых узоров кожи. В частности, установлено упрощение дерматоглифики дистальных фаланг пальцев у детей с врожденными пороками сердца [7], на нарушение дерматоглифов и выраженное снижение величины гребневого счета под действием техногенного химического загрязнения окружающей среды указывает Василенко Ю. А. [4]. Отмечена информативность особенностей папиллярных узоров в склонности к определенным видам спорта [8], а также групповой принадлежности крови системы АВО [9]. Показана связь особенностей пальцевых узоров с психическими и поведенческими реакциями [4, 10]. Указанные факты свидетельствуют о большой практической ценности особенностей дерматоглифики для идентификации различных заболеваний, выявлении склонностей или оценке негативного влияния экологических факторов, неопределима важность дактилоскопии в криминалистике, так как будучи генетически детерминированными, папиллярные узоры строго индивидуальны и неизменны на протяжении всей жизни человека [4, 6, 11–13].

Таким образом, общность происхождения гребешковых узоров кожи и нервной системы, являющейся материальной основой высшей нервной деятельности, обусловили цель настоящей работы, заключающейся в оценке взаимосвязи пальцевой дерматоглифики и темперамента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Типы темпераментов у обследуемых студентов определяли по стандартному личностному опроснику Г. Айзенка (Eysenck Personality Inventory, EPI) [14], состоящему из 57 вопросов (24 из которых позволяют определить склонность к интроверсии / экстраверсии, 24 – эмоциональную стабильность и 9 – искренность отвечающего) и двух шкал: экстраверсии-интроверсии и нейротизма. Типы темперамента устанавливали на основе анализа показателей обследуемых по схеме «круга Айзенка».

Установленные по результатам опросника EPI Айзенка типы темперамента делили на три группы: 1. явно выраженный тип темперамента (сангвиник, холерик, флегматик или меланхолик); 2. «переходный» тип; 3. невыраженный тип. Студенты с выраженными типами темперамента имели показатели, расположенные в непосредственной близости от диагоналей квадрантов, расположенных на осях «интроверсии – экстраверсии» и «нейротизма–стабильности» круга Айзенка. Соответственно, к «промежуточным» типам (меланхолик-флегматик, меланхолик-холерик, сангвиник-флегматик, сангвиник-холерик) были причислены студенты, показатели которых располагались около осей «интроверсия–экстраверсия» и «нейротизм–стабильность». К невыраженным типам темперамента были отнесены обследуемые показатели которых были расположены в непосредственной близости от центра пересечения осей «интроверсии–экстраверсии» и «нейротизм–стабильность».

Морфотипы гребешковых узоров ногтевых фаланг изучали на основе отпечатков пальцев обеих рук обследуемых, полученных общепринятым методом [6]. На полученных дерматограммах определяли качественные и количественные признаки пальцевых дерматоглифических узоров: тип узора (дуга – A (arch), петля – L (loop), завиток – W (whorl)), частоту его встречаемости и дельтовый индекс (DL10), величину которого определяли по следующей формуле [6]:

$$DL10= 10(L + 2W)/(A+L+W).$$

Морфотипы папиллярных узоров определяли по комбинациям дерматоглифов в соответствии с теорией мономерного доминантного наследования типов узоров A-L-W, а также межлалельного взаимодействия генов A-L-W [9, 11]. На основании этого у обследуемых выделяли фенотипы 10L (петли), AL (дуг ≥ 5), ALW, LW (петель ≥ 5), WL (завитков ≥ 5).

Полученные данные обрабатывали статистическими методами, были рассчитаны: среднее арифметическое (M), стандартная ошибка средней (m), среднеквадратическое отклонение (SD). В обсуждении и сравнении полученных результатов использовали: среднее значение (M) \pm стандартная ошибка среднего (m), используя для определения достоверности различий показателей исследуемых независимых выборок t-критерий Стьюдента. Различия исследуемых характеристик считали достоверными при 95 %-ном пороге вероятности ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволили установить принадлежность обследованных студентов к определенному типу темперамента. Было установлено две группы темперамента: явно выраженный (n=53) и переходный (n=14). В первой группе наиболее распространенным типом темперамента оказался холерический (n=26), вторым – сангвинический (n=11) в равной степени – флегматичный и меланхолический (n=8). Переходный темперамент оказался менее распространенным в обследованной группе студентов, среди которых также большинство пришлось на холериков – холерик-сангвиник (n=5) и холерик-флегматик (n=2), в меньшей мере – на другие типы переходных темпераментов (рис. 1).

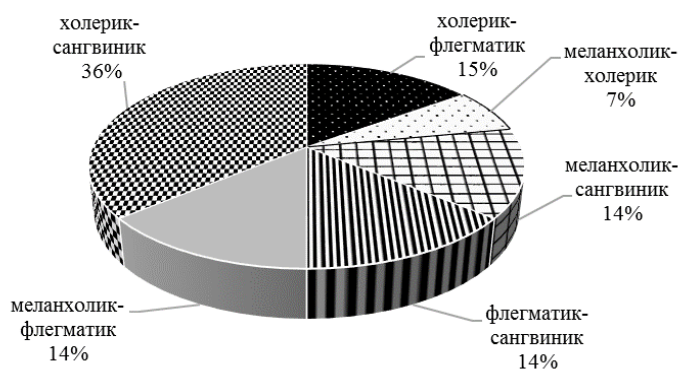


Рис. 1. Распределение типов темперамента в группе обследуемых студентов с переходным типом.

Таким образом, среди обследованных студентов доминирующим типом темперамента оказался холерический, обуславливающий быстроту движений и действий, порывистость, возбудимость, а также высокую скорость реализации психических процессов. Вместе с тем отличительной чертой холерического темперамента является неуравновешенность, что не всегда положительно отражается на работе, за которую холерик берется с высокой долей энтузиазма, но не всегда доводит до логического завершения. Данная особенность холериков объясняется быстрым истощением запасов нервной энергии и преобладанием возбуждения над торможением [14]. В этой связи значительный научный интерес представляет изучение особенностей дерматоглифики представителей холерического темперамента. Анализ дактилокарт обследуемых студентов с холерическим темпераментом позволил установить у них все три основных типа папиллярных узоров (А, L и W), однако с разной степенью фенотипического проявления. В частности, наиболее характерным типом папиллярных узоров оказались петли (65 %). Частота встречаемости завитков составила 23,07 %, менее распространенными оказались дуги – 11,92 %. Полученные данные соответствуют имеющимся в литературе и подтверждающим более высокую частоту встречаемости петлевых узоров [6, 11, 15]. Изучение особенностей фенотипов

папиллярных узоров L, позволило установить их широкий полиморфизм. Наряду с обычным петлевым узором (рис. 2 а), были обнаружены усложненные варианты (рис. 2 б). Также было установлено, что основная масса петлевых узоров была представлена ульнарными петлями Lu (ножки петель направлены в сторону ульнарной части ладони). Радиальные петли Lr (ножки петель направлены в сторону большого пальца) встречались редко (рис. 2 в).

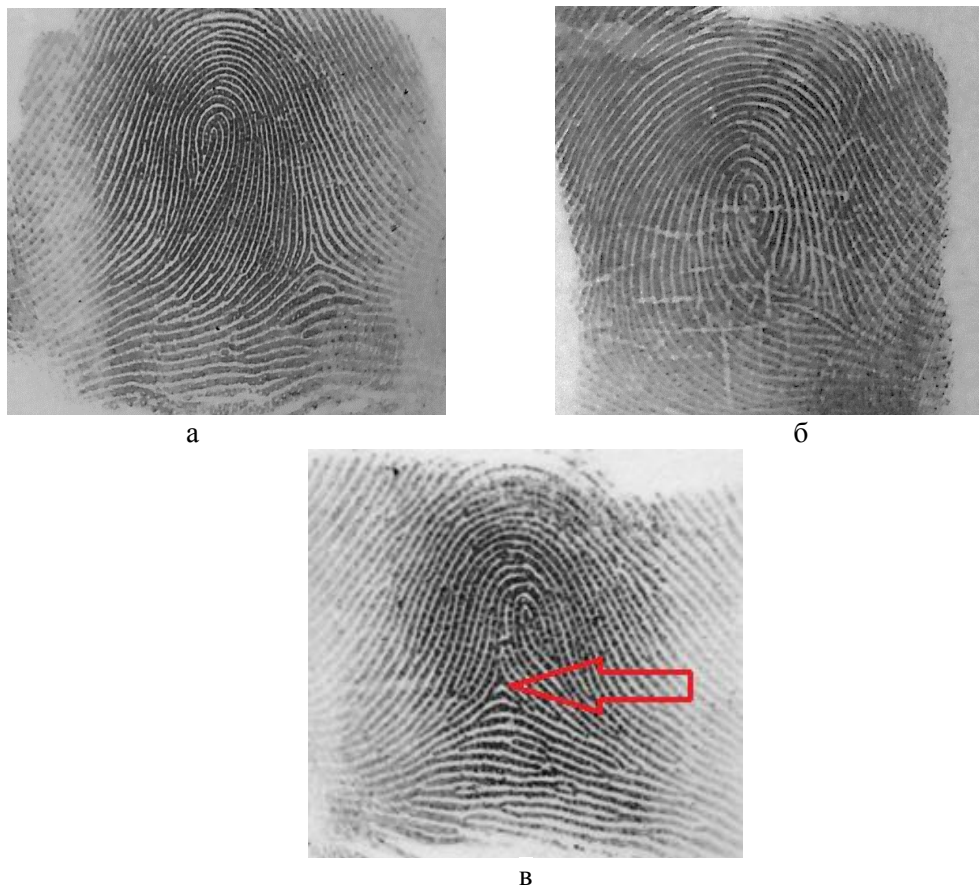


Рис. 2. Различные варианты петлевых узоров, идентифицированных у обследуемых с холерическим темпераментом: а – обычная ульнарная петля; б – ложно-завитковый петлевой узор; в – радиальная петля (стрелкой указан трирадиус).

Возможно, сильный тип нервной системы, характерный для холерического темперамента, обуславливает усложнение морфотипов петлевых узоров ногтевых фаланг пальцев.

Расчет показателя дельтового индекса (DL10), представляющего собой количественный параметр, определяющий среднее количество дельт на одного человека, позволил определить среднюю величину в группе студентов с холерическим темпераментом, составившую $10,92 \pm 0,41$. Количественный анализ

дерматоглифов у студентов с сангвиническим, флегматическим и меланхолическим типами темперамента позволил также установить у них три основных типа узоров (А, L и W), кроме того были обнаружены различные варианты сложных узоров, которые при подсчете мы относили к группе завитковых, так как количество дельт в этих узорах ≥ 2 [16].

Как и в группе обследуемых с холерическим темпераментом, в указанных группах доминирующим оказался петлевой рисунок, однако по частоте встречаемости данного фенотипа были установлены межгрупповые отличия (рис. 3). В частности, при сравнении студентов с холерическим темпераментом и сангвиническим, не было установлено статистически значимых отличий ($p > 0,05$) по частоте встречаемости фенотипов А, L и W, что может свидетельствовать о связи сильного типа нервной системы с морфотипами Lu и сложными петлевыми рисунками. Данная гипотеза подтверждается отсутствием статистически значимых различий при сравнении холериков – флегматиков и сангвиников – флегматиков.

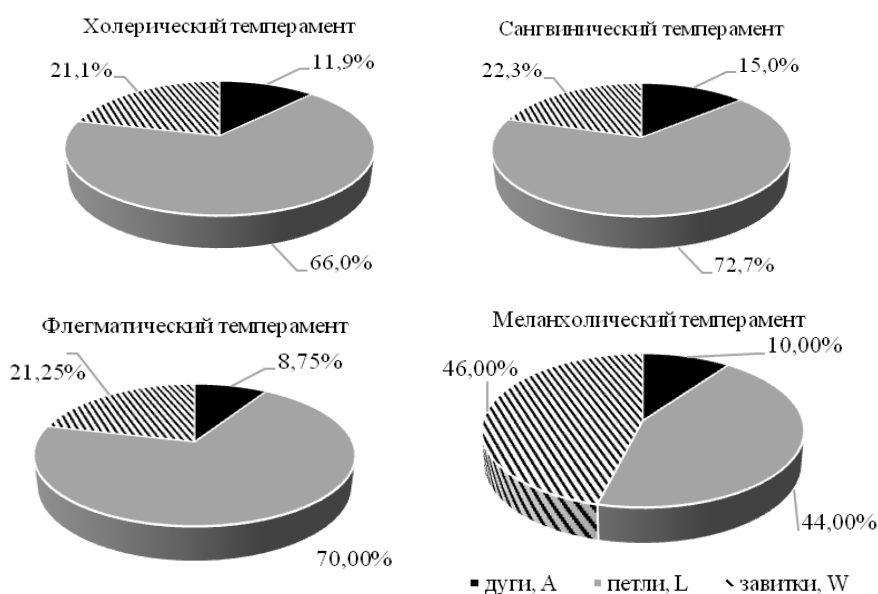


Рис. 3. Основные морфотипы пальцевой дерматоглифики у студентов с разными типами темперамента.

В отличие от групп холерического, сангвинического и флегматического типов темперамента, частота встречаемости фенотипа W оказалась наиболее высокой у студентов меланхолического типа темперамента – 46,25 %. Выявлены статистически значимые отличия частоты встречаемости фенотипа W у меланхоликов в сравнении с сангвиниками ($p < 0,05$) и холериками ($p < 0,05$). Возможно, высокая частота встречаемости завитковых узоров может служить маркером нервной системы чувствительного типа, которая характерна для представителей меланхолического темперамента.

Более высокая частота встречаемости завитковых и сложных узоров у обследуемых с меланхолическим типом темперамента обусловила увеличение показателя дельтового индекса ($13,62 \pm 0,77$), так как данные морфотипы характеризуется наличием двух трирадиусов. Трирадиусом или дельтой (рис. 2 в) называют особую анатомическую структуру гребневого узора, формирующуюся у плода 15–17 недель в результате схождения трех систем гребешков [17], отделяющих его центральную часть от периферической [18].

Сравнительный анализ показателей DL10 у обследуемых с сангвиническим типом темперамента ($10,54 \pm 0,71$) и меланхолическим, выявил статистически значимые различия ($p < 0,05$). Аналогичная ситуация имела место при сравнении холериков с меланхоликами ($p < 0,05$). Сравнение величины дельтового индекса представителей флегматического типа ($11,25 \pm 1,37$) и меланхолического не обнаружило статистически значимых различий. Возможно, выявленная особенность связана с тем, что меланхолики и флегматики относятся к интровертам, а холерики и сангвиники – к экстравертам.

Сравнительный анализ частоты встречаемости петлевого узора у обследованных студентов позволил выявить статистически значимые межгрупповые отличия ($p < 0,05$) представителей с сильным типом нервной системы (холериков, флегматиков и сангвиников) от меланхоликов. Следовательно, петлевые дерматотипы могут выступать в роли онтогенетических маркеров нервной системы сильного типа. Следует отметить, что отличия выявлены не только по количественным параметрам, но и по качественным. В частности, петлевые дерматоглифы меланхоликов отличались большим содержанием радиальных петель Lr, чем ульнарных Lu. Сравнение частоты встречаемости дугового фенотипа А у представителей разных типов темперамента не выявило статистически значимых межгрупповых отличий. Данный тип папиллярных узоров является наиболее редким по частоте встречаемости [6, 11]. В нашем исследовании частота встречаемости дуг варьировала в пределах от 8,75 % (флегматический тип темперамента) до 15 % (сангвинический тип) (рис. 4).

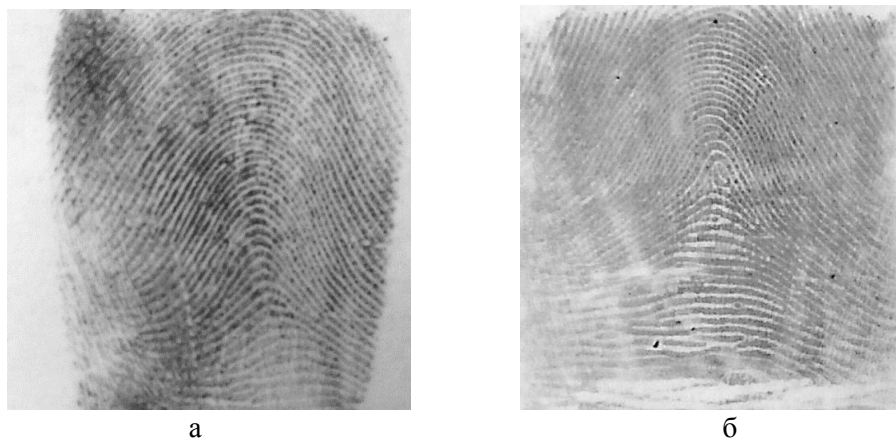


Рис. 4. Различные варианты дуговых узоров, идентифицированных у обследуемых студентов: а – простая дуга; б – шатровая дуга.

Таким образом, основными фенотипами, характерными для представителей с сильным типом нервной системы явились дерматоглифы с петлевым рисунком: LW (петель ≥ 5) и в меньшем количестве 10L (петли). Для представителей со слабым типом нервной системы наиболее характерными оказались фенотипы: WL (завитков ≥ 5) и ALW.

На заключительном этапе исследования был проведен анализ особенностей дерматоглифики у студентов с переходными типами темперамента. Все выявленные разновидности являлись результатом формирования темпераментов по типу «сильный тип нервной системы с сильным» (например, холерик-сангвиник) или «чувствительный тип нервной системы с сильным» (меланхолик-холерик) (см. рис. 1). В силу отсутствия статистически значимых внутригрупповых отличий между представителями с переходными типами темперамента, все они были объединены в одну общую группу. Как и в целом по выборке самым распространенным вариантом фенотипа гребешковых узоров ногтевых фаланг пальцев у обследуемых с переходным типом темперамента оказался петлевой узор. Частота встречаемости фенотипов L составила 65,74 %, W – 31,43 %, дуговой узор А оказался наиболее редким (1,43 %). Внутригрупповой анализ позволил выявить фенотипы А только у представителей с переходным типом темперамента меланхолик-флегматик и флегматик-сангвиник. Следовательно, присутствие фенотипа А более характерно для флегматического темперамента, так как в других вариантах переходных типов темперамента указанного морфотипа не было обнаружено. У обследуемых с переходным типом темперамента по типу «сильный тип нервной системы с сильным» наиболее характерными были фенотипы LW, переходный тип темперамента «чувствительный тип нервной системы с сильным» отличался смещением фенотипа от петлевого узора к завитковому (WL → W).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено исследование взаимосвязи двух генетически детерминированных признаков – темперамента и дерматотипа, установленных на основе психологического тестирования обследуемых студентов и анализа дерматоглифов пальцевых фаланг.
2. Выявленные типы темперамента, характерные для обследуемых, были разделены на две группы: явно выраженный и переходный типы. В обеих группах доминирующим оказался холерический темперамент и его вариации (холерик-сангвиник, холерик-флегматик). Анализ дерматоглифов обследуемых с холерическим темпераментом позволил установить все три типа фенотипов папиллярных узоров ALW в разном соотношении: петли – 65 %, завитки и сложные узоры – 23,07 %, дуги – 11,92 %.
3. Фенотипы папиллярных узоров L у представителей с холерическим типом темперамента отличались широким полиморфизмом, помимо обычных петель были обнаружены усложненные варианты (ложно-завитковые, сложные петли). Среди простых петель самыми распространенными явились ульнарные петли Lu. Высказано предположение, что сильный тип нервной системы, характерный

- для холерического темперамента, обуславливает усложнение морфотипов петлевых узоров ногтевых фаланг пальцев.
- У представителей с сильным типом нервной системы (сангвиники и флегматики) доминирующим фенотипом были петлевые папиллярные узоры (72,72 %; 70 %) и в меньшей мере встречались завитковые (22,3 %; 21,25 %) и дуговые узоры (15 %; 8,75 %). Выявленные варианты дерматотипов не имели статистически значимых отличий с дерматоглифами представителей холерического темперамента, что может свидетельствовать о связи сильного типа нервной системы с морфотипами Lu и сложными петлевыми рисунками.
 - Вывалены статистически значимые различия ($p < 0,05$) частоты встречаемости фенотипа W у студентов с меланхолическим типом темперамента от групп обследуемых с холерическим и сангвиническим типами темпераментов. На основании чего высказано предположение о том, что высокая частота встречаемости завитковых узоров может служить маркером нервной системы чувствительного типа.
 - Установлено, что основными морфотипами папиллярных узоров, характерных для представителей с сильным типом нервной системы явились петлевые дерматоглифы: LW (петель ≥ 5) и в меньшем количестве 10L (петли). Для представителей с чувствительным типом нервной системы наиболее характерными оказались фенотипы: WL (завитков ≥ 5) и ALW.
 - Переходный тип темперамента варианта «чувствительный тип нервной системы с сильным» характеризовался фенотипом LW; переходный тип темперамента варианта «чувствительный тип нервной системы с сильным» отличался смещением фенотипа от петлевого узора к завитковому (WL \rightarrow W).

Список литературы

- Никитюк Б. А. Пальцевые дерматоглифы как маркеры темпов пренатального роста производных эктодермы / Б. А. Никитюк // Генетические маркеры в антропогенетике и медицине: тез. 4-го Всесоюз. симпозиума. Хмельницкий, 1988. – С. 133–39.
- Бабынин Э. В. Генетические аспекты темперамента / Э. В. Бабынин // Психологический журнал. – 2003. – № 5. – С. 95–102.
- Шульговский В. В. Основы нейрофизиологии: Учебное пособие / В. В. Шульговский. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 277 с.
- Василенко Ю. А. Параллелизм изменений дерматоглифики, эндокринного и психического статуса в популяции детского населения, проживающего в районах с высокой антропогенной нагрузкой / Василенко Юлия Александровна. – Дисс. на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 19.00.02 – Психофизиология. – Ставрополь, 2005. – 151 с.
- Бадалян Л. О. Руководство по неврологии раннего детского возраста / Л. О. Бадалян, Л. Т. Журба, Н. М. Всевожская. – Киев: Здоров'я, 1980. – 528 с.
- Гладкова Т. Д. Кожные узоры кисти и стопы обезьян и человека. / Т. Д. Гладкова. – М., 1966. – 150 с.
- Бутова О. А. Дерматотип детей Ставрополя с врожденными пороками сердца / О. А. Бутова, Л. Д. Цатурян // Вестник СГУ. – 2004. – № 37. – С. 39–44.
- Грбовикова И. Ю. Дерматоглифические маркеры в прогнозе предрасположенности к занятиям спортивными единоборствами / И. Ю. Грбовикова // Весці БДПУ. – Серия 3. – 2016. – С. 23–29.
- Божченко А. П. Дерматоглифика пальцев рук молодых мужчин с различной группой крови системы АВО: характер и природа взаимосвязи / А. П. Божченко, В. И. Ригонен // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 6, № 3. – С. 391–401.

10. Ксенофонтова В. А. Морфологические маркеры психических и поведенческих особенностей девушек / Ксенофонтова В. А. // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2015. – Т. 5, № 5. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.medconfer.com.
11. Гусева И. С. Морфогенез и генетика гребешковой кожи человека. / И. С. Гусева. – Минск: Беларусь, 1986. – 158 с.
12. Machado J. F. Digital dermatoglyphic heritability differences as evidenced by a female twin study / J. F. Machado, P. R. Fernandes, R. W. Roquetti et al. // Twin Res. Hum. Genet. – 2010. – № 5. – P. 482–489.
13. Rodewald A. Dermatoglyphic peculiarities in patients with Williams-Beuren syndrome / A. Rodewald, R. Pankau, A. Gosch et al. // American journal of medical genetics. – 1994. – №. 53. – P. 227–235.
14. Карелин А. Большая энциклопедия психологических тестов / Андрей Карелин. – Редактор Н. Дубенюк. – М.: Эксмо, 2005. – 416 с.
15. Bener A. The investigation of linkage between dermatoglyphics and groups using family data from three generations / A. Bener // Int. J. Anthropol. – 1987. – Vol. 2, № 2. – P. 137–140.
16. Цатурян Л. А. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы организма детей с учетом их конституциональных особенностей / Людмила Дмитриевна Цатурян. – Дисс. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук по специальности: Физиология – 03.00.13 и Педиатрия – 14.00.09. – Ставрополь, 2004. – 229 с.
17. Хить Г. Л. Дерматоглифика в антропологии / Г. Л. Хить, И. Г. Ширококов, И. А. Славолубова. отв. ред. И. Г. Ширококов. – СПб.: Нестор-история, 2013. – 376 с.
18. Holt S. Epidermal ridge – counts / S. Holts // Coll. Antropol. – 1979. – Vol. 3, № 1. – P. 97–106.

CORRELATION BETWEEN FINGER DERMATOGLYPHICS AND TEMPERAMENT TYPES

Ibragimova E. E.

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

The purpose of the research was to study the correlation between character types and dermatotypes, two genetically determined characteristics, specified by means of the psychologic testing the experimental students and the analysis of special characteristics of the ridge patterns of the phalanges.

The identified types of temperament characteristics of the subjects were divided into two groups: pronounced and transient types. Choleric personality type and its variations (choleric-sanguine, choleric-phlegmatic) were prevalent in both groups. The analysis of dermatoglyphic signs of the choleric personality type experimental subjects allowed to identify all the three types of ALW papillary pattern phenotypes in different ratios: loops – 65 %, whorls and complex patterns – 23.07 %, arcs – 11.92 %.

The phenotypes of L papillary patterns of the choleric personality type subjects were characterized by a wide polymorphism, the complicated variants were revealed alongside with the typical loops. Lu loops were the most widespread among simple loops. It is suggested that a strong type of nervous system peculiar to a choleric temperament causes added complexity of morphotypes of nail phalange loop patterns.

The dominant phenotype of the individuals with a strong type of nervous system (sanguine and phlegmatic subjects) was represented by loop papillary patterns (72.72 %; 70 %) and to a lesser extent by curls (22.3 %; 21.25 %) and arc patterns (15 %; 8.75 %).

The identified variations of dermatotypes had no statistically significant differences from dermatoglyphic signs of the choleric personality type individuals, which may indicate a correlation between a strong type of nervous system and Lu morphotypes and complex loop patterns. The revealed frequency of occurrence of W phenotype among the melancholic personality type was statistically different ($p < 0.05$) from those of the choleric and sanguine subjects. It may be assumed that the high frequency of occurrence of whorl patterns can serve as a marker of the sensitive nervous system.

Keywords: temperament, nervous system, dermatotype, phenotype, papillary patterns, A – arcs, L – loops, W – whorls.

References

1. Nikityuk B. A., Finger dermatoglyphs as markers of prenatal growth rates of ectoderm derivatives, Genetic markers in anthropogenetics and medicine: *List of references of 4th all-Union symposium's. Khmelnitsky*, 133 (1988).
2. Babynin E. V., Genetic aspects of temperament, *Psychological journal*, **5**, 95 (2003).
3. Shulgovskiy V. V., *Fundamentals of neurophysiology: a tutorial*, 277 p (Moscow: Aspect Press, 2002).
4. Vasilenko Yu. A., Parallelism of changes in dermatoglyphics, endocrine and mental status in the population of children living in areas with high anthropogenic load, Diss. for the degree of candidate of biological Sciences, 151 p (*Stavropol*, 2005).
5. Badalyan L. O., Zhurba L. T., Vsevolzhskaya N. M., *Guide to early childhood neurology*, 528 p. (Kyiv: Health, 1980).
6. Gladkova T. D., *Skin patterns of brush and foot of monkeys and man*, 150 p (Moscow, 1966).
7. Butova O. A., Dermatome children of Stavropol with congenital heart disease, *Bulletin of SSU*, **37**, 39 (2004).
8. Grobovicova I. Y., Dermatoglyphic markers in the prediction of predisposition to sports martial arts, *Bulletin of BSPU*, **3**, 23 (2016).
9. Bogchenko A. P., Igonin V. I., Dermatoglyphics of the fingers of young men with different blood group system ABO: the character and nature of the relationship, *Bulletin of sea university*, **6 (3)**, 391 (2016).
10. Ksenofontova V. A., Morphological markers of mental and behavioral characteristics of girls, *Bulletin of medical Internet conferences*, **5 (5)**, www.medconfer.com mmm.
11. Guseva I. S., *Morphogenesis and genetics of human scallop skin*, 158 p (Minsk: Belarus, 1986).
12. Machado J. F., Fernandes P. R., Roquetti R. W. et al. Digital dermatoglyphic heritability differences as evidenced by a female twin study, *Twin Res. Hum. Gene*, **5**, 482 (2010).
13. Rodewald A., Pankau R., Gosch A. et al. Dermatoglyphic peculiarities in patients with Williams-Beuren syndrome, *American journal of medical genetics*, **53**, 227 (1994).
14. Karelin A., *Great encyclopedia of psychological tests*, 416 p (Moscow: Eksmo, 2005).
15. Bener A., The invertiganion of linkage between dermatoooglyphics and groups using family dato from three generation, *Int. J. Anthropol*, **2 (2)**, 137 (1987).
16. Tsaturyan L. A., The Functional state of the cardiovascular system of the children's body, taking into account their constitutional features, Diss. for the degree of candidate of medical Sciences, 229 p (*Stavropol*, 2004).
17. Khit G. L., Shirobokov I. G., Slavolyuba I. A., edited by Shirobokov I. G. *Dermatoglyphics in anthropology*, 376 p (SPb.: Nestor-history, 2013).
18. Holt S., Epidermal ridge – counts, *Coll. Antropol*. **3 (1)**, 97 (1979).

УДК 612.825; 616:613.6

РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ У ДЕТЕЙ 6-9 ЛЕТ В УСЛОВИЯХ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Муминова Л. Л., Махин С. А.

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

В статье представлены результаты исследования особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6-9 лет (N=60) в условиях имитации биологического (рука) и небιологического (цветовое пятно) движений с помощью компьютерной мыши. Статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма при подражании движениям небιологического объекта наблюдалось в отведении С3 ($t = -2,09$; $p = 0,04$). Статистически значимых изменений в величине амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми биологических движений обнаружено не было. Сравнительный анализ индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма продемонстрировал статистически значимые различия для отведения Pz. При подражании движениям светового пятна наблюдалась синхронизация сенсомоторного ритма (-0,4 %), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация (3,4 %).

Ключевые слова: ЭЭГ, сенсомоторный ритм, мю-ритм, альфа-ритм, зеркальная система мозга, имитация, дети.

ВВЕДЕНИЕ

Долгое время исследователи находились в поиске правдоподобных нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе сложных форм социального взаимодействия. Открытие системы зеркальных нейронов приблизило нас к решению данной проблемы. Зеркальные нейроны – это нервные клетки, которые разряжаются как при выполнении действия, так и при наблюдении за этим действием [1]. Участвуя в распознавании действий, зеркальная система мозга (ЗСМ) обеспечивает понимание стоящих за ними целей и намерений других людей [2, 3].

Было высказано предположение, что ЗСМ лежит в основе способности людей к подражанию. В исследовании Wohlschlagel et al. было показано, что подражание биологическому движению сопровождается активацией ЗСМ человека и является результатом сопоставления наблюдаемого действия и внутреннего моторного плана осуществления этого действия [4].

В последние годы наблюдается увеличение числа исследований, направленных на изучение особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ человека как индикатора активности ЗСМ [5, 6]. Сенсомоторный ритм (8–13 Гц) регистрируется в состоянии двигательного покоя над локусами С3, Сz и С4 [7, 8]. В норме амплитуда

мю-ритма снижается как при выполнении действия, так и при наблюдении за этим действием [9]. При этом его реактивность выражена в большей степени при выполнении целенаправленных действий [10]. Более того, анализ ЭЭГ продемонстрировал десинхронизацию мю-ритма во время наблюдения испытуемыми движений модели руки на экране монитора [11]. Также было показано, что у индивидов, страдающих расстройствами аутистического спектра, не было зарегистрировано падения сенсомоторного ритма при наблюдении за действием [12].

В одном из исследований было показано, что наблюдается значимая дополнительная к вызванной собственными движениями десинхронизация сенсомоторных ритмов при имитации биологических, в то время как для условия подражания небιологическим движениям она отсутствовала [13].

Однако исследования реактивности сенсомоторного ритма при подражании движениям биологических и небιологических объектов проводились с участием взрослых испытуемых. Вопрос об изменении мю-активности ЭЭГ детей в подобных ситуациях остается неизученным. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является анализ реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6–9 лет в условиях имитации биологического и небιологического движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 60 детей в возрасте 6–9 лет (38 мальчиков и 22 девочки) с уровнем когнитивного развития, соответствующим возрастной норме. Регистрация, обработка и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 3» (фирма «Нейрософт», г. Иваново) и двух персональных компьютеров. Для обработки данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е.Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4) и затылочных (O1, O2) локусов по системе 10–20, однако в дальнейшем анализе использовались лишь фронтальные, центральные и теменные. Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 1.5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц.

Запись ЭЭГ производилась во время выполнения испытуемыми серии заданий длительностью по 20 и 30 секунд. Для каждого этапа рассчитывалось среднее значение амплитуды ЭЭГ в диапазоне сенсомоторного ритма (мю-ритма) (8–13 Гц). В качестве эпох анализа использовались временные интервалы по 3 секунды с перекрытием 50 %.

Для имитации детьми небιологического движения использовалась следующая экспериментальная ситуация:

- 1) осуществление концентрических перемещений цветового пятна на экране монитора при помощи компьютерной мыши;
- 2) имитация движений другого цветового пятна.

Для имитации детьми биологического движения использовалась следующая экспериментальная ситуация:

1) осуществление самостоятельных движений компьютерной мышью по кругу;
 2) имитация движений компьютерной мышью, выполняемых экспериментатором. В данной ситуации испытуемый и экспериментатор располагались за стоящими рядом столами (экспериментатор справа), на каждом из которых находился монитор и компьютерная мышь. На мониторе перед испытуемым с помощью веб-камеры демонстрировалась рабочая плоскость стола экспериментатора с расположенной на ней мышью.

Рассчитывались индексы синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма для ситуаций имитации движений по отношению к исходному состоянию (собственные движения). Положительные значения индекса десинхронизации свидетельствовали о снижении амплитуды сенсомоторного ритма относительно исходного состояния, а отрицательные – об увеличении амплитуды мю-ритма. Также было проведено сравнение показателей реактивности сенсомоторного ритма при имитации движений небиологического и биологического объектов.

Данные электрофизиологического исследования количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента, g-критерия знаков и коэффициента корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование t-критерия Стьюдента для анализа различий в амплитуде сенсомоторного ритма ЭЭГ в задачах на самостоятельное осуществление детьми движений и последующую имитацию движений небиологического объекта позволило выявить снижение амплитуды сенсомоторного ритма в одних отведениях и ее рост в других отведениях. Числовые значения амплитуды сенсомоторного ритма в данных экспериментальных ситуациях приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ) при самостоятельном осуществлении движений детьми 6–9 лет и подражании движениям небиологического объекта

Отведение	Самостоятельное осуществление движений	Подражание движениям небиологического объекта
Fz	7,5±1,9	7,6±2,0
F3	7,3 ± 1,8	7,5 ± 2,0
F4	7,6 ± 2,2	7,5 ± 1,9
Cz	8,5 ± 2,6	8,6 ± 3,0
C3	7,3 ± 1,8	7,6 ± 2,0 *
C4	9,5 ± 4,3	9,8 ± 4,6
Pz	8,5 ± 2,8	8,4 ± 3,0
P3	7,4 ± 1,7	7,5 ± 2,0
P4	8,3 ± 3,0	8,5 ± 3,4

Примечание. Приведены средние значения ± стандартное отклонение. Звездочкой отмечен случай статистически значимых изменений при $p \leq 0,05$

Из данных таблицы видно, что при имитации детьми движений небиологического объекта наблюдался незначительный рост амплитуды сенсомоторного ритма в отведениях Fz ($t = -0,60$; $p = 0,55$), F3 ($t = -1,02$; $p = 0,31$), Cz ($t = -0,59$; $p = 0,55$), C4 ($t = -1,18$; $p = 0,24$), P3 ($t = -0,67$; $p = 0,50$), P4 ($t = -0,75$; $p = 0,46$) относительно ситуации самостоятельных движений. При этом различия не достигали уровня статистической значимости. Статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма при подражании движениям небиологического объекта относительно ситуации самостоятельных движений наблюдалось в отведении C3 ($t = -2,09$; $p = 0,04$). Интерпретация феномена роста амплитуды мю-ритма при подражании детьми движений небиологического объекта в настоящий момент вызывает затруднения. Можно высказать предположение, что это связано с тем, что задача подражания небиологическому объекту для детей требовала меньшей когнитивной нагрузки по сравнению с ситуацией самостоятельного выполнения движения.

Падение амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми движений небиологического объекта по сравнению с ситуацией самостоятельного движения наблюдалось в локусах F4 ($t = 0,09$; $p = 0,93$) и Pz ($t = 0,12$; $p = 0,90$), но при этом уровня статистической значимости данные изменения не достигали.

Далее будут рассмотрены изменения значений амплитуды сенсомоторного ритма ЭЭГ при имитации детьми движений биологического объекта относительно ситуации самостоятельно выполняемых движений.

В таблице 2 представлены значения амплитуд сенсомоторного ритма ЭЭГ в ситуации самостоятельных движений и последующей ситуации подражания биологическим движениям.

Таблица 2.
Значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ) ЭЭГ при выполнении детьми 6-9 лет самостоятельных движений и имитации движений биологического объекта

Отведение	Самостоятельное осуществление движений	Подражание биологическим движениям
Fz	$7,6 \pm 2,1$	$7,8 \pm 3,0$
F3	$7,5 \pm 2,0$	$7,6 \pm 2,8$
F4	$7,79 \pm 2,2$	$7,77 \pm 2,9$
Cz	$8,7 \pm 2,6$	$8,6 \pm 3,3$
C3	$7,6 \pm 1,8$	$7,7 \pm 2,9$
C4	$9,9 \pm 3,9$	$10,1 \pm 4,7$
Pz	$8,9 \pm 2,7$	$8,7 \pm 3,3$
P3	$7,69 \pm 1,9$	$7,7 \pm 2,9$
P4	$8,72 \pm 3,0$	$8,67 \pm 3,7$

Из представленных данных видно, что рост амплитуды мю-ритма при подражании детьми биологическим движениям относительно ситуации

самостоятельных движений наблюдался в отведениях Fz ($t = -0,88$; $p = 0,38$), F3 ($t = -0,71$; $p = 0,48$), C3 ($t = -0,56$; $p = 0,58$), C4 ($t = -0,72$; $p = 0,47$), P3 ($t = -0,14$; $p = 0,89$). Однако данные изменения не достигали уровня статистической значимости. Падение амплитуды сенсомоторного ритма наблюдалось в локусах F4 ($t = 0,12$; $p = 0,90$), Cz ($t = 0,45$; $p = 0,66$), Pz ($t = 1,14$; $p = 0,26$), P4 ($t = 0,27$; $p = 0,79$), но данные изменения также не достигали уровня статистической значимости.

С целью анализа значимости различий в величине относительной синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при сравнении условий имитации биологического и небιологического движения использовался g -критерий знаков. Статистически значимые различия были выявлены исключительно для отведения Pz ($Z = 2,19$; $p = 0,03$). В ситуации подражания движениям светового пятна наблюдалась несущественная синхронизация сенсомоторного ритма ($-0,4\%$), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация ($3,4\%$).

Данный результат косвенно подтверждает выводы, сделанные Desy et al. (2013), который продемонстрировал, что имитация биологических движений приводит к более выраженному падению сенсомоторного ритма ЭЭГ, чем подражание небιологическим движениям. Предположительно, это связано с активностью зеркальной системы мозга, ответственной за понимание чувств и намерений других людей, а также имитацию и социальное взаимодействие [14].

В целом, в результате расчетов относительных величин синхронизации/десинхронизации и значимости различий между ними были получены показатели, представленные в Таблице 3.

Обобщая данные, представленные в таблице, можно заключить, что в ситуации подражания движениям светового пятна наблюдаются процессы синхронизации сенсомоторного ритма во всех отведениях ЭЭГ, в то время как условие подражания движениям руки другого человека сопровождается разнонаправленными процессами: μ -ритм синхронизируется в отведениях Fz, F3, Cz, C4 и P3 и десинхронизируется в отведениях F4, Cz, Pz и P4. Следует указать, что выраженность всех рассчитанных показателей относительно невелика, в связи с чем их интерпретация требует определенной доли осторожности и дополнительной проверки в последующих исследованиях.

Корреляционный анализ взаимосвязи между коэффициентом синхронности при имитации движений светового пятна и величиной десинхронизации сенсомоторного ритма при имитации небιологического и биологического движений позволил обнаружить значимые связи исключительно для ситуации подражания биологическому движению. Так, большим значениям коэффициента синхронности при имитации детьми движений светового пятна соответствовали большие значения индекса десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическим движениям в локусах Cz ($r = 0,29$, $p = 0,03$), C3 ($r = 0,27$; $p = 0,03$) P3 ($r = 0,27$; $p = 0,03$) и Pz ($r = 0,44$; $p = 0,000$). Других значимых корреляций обнаружено не было (Fz ($r = 0,20$; $p = 0,12$), F3 ($r = 0,25$; $p = 0,05$), F4 ($r = 0,17$; $p = 0,20$), P4 ($r = 0,16$; $p = 0,23$), C4 ($r = 0,01$; $p = 0,92$)).

Таблица 3.
Индексы синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма ЭЭГ при подражании биологическому и небιологическому движениям относительно условия выполнения самостоятельных движений

Отведение ЭЭГ	Подражание небιологическим движениям, %	Подражание биологическим движениям, %	Значимость различий (g-критерий знаков)
Fz	-1,92	-1,55	Z = -0,129 p = 0,897
F3	-2,13	-1,63	Z = 0,387 p = 0,699
F4	-1,77	0,46	Z = 0,904 p = 0,366
Cz	-1,22	1,41	Z = -0,129 p = 0,897
C3	-4,68	-1,04	Z = 0,645 p = 0,519
C4	-4,05	-0,92	Z = 0,129 p = 0,897
Pz	-0,38	3,40	Z = 2,125* p = 0,028
P3	-1,84	-0,16	Z = -0,129 p = 0,897
P4	-1,86	1,50	Z = 0,646 p = 0,519

Примечание: положительные значения индексов свидетельствуют о десинхронизации сенсомоторного ритма, отрицательные – о синхронизации. Звездочкой обозначен случай статистически значимых различий.

Настоящие результаты согласуются с данными, полученными в 2006 году группой Kessler et al. В их исследовании с помощью МЭГ было установлено, что при подражании биологическим движениям наблюдалась активация премоторной, височной и теменной коры. В частности, активация задней теменной коры, по их предположению, обеспечивает интеграцию входящих стимулов от всех органов чувств при имитации движений [15].

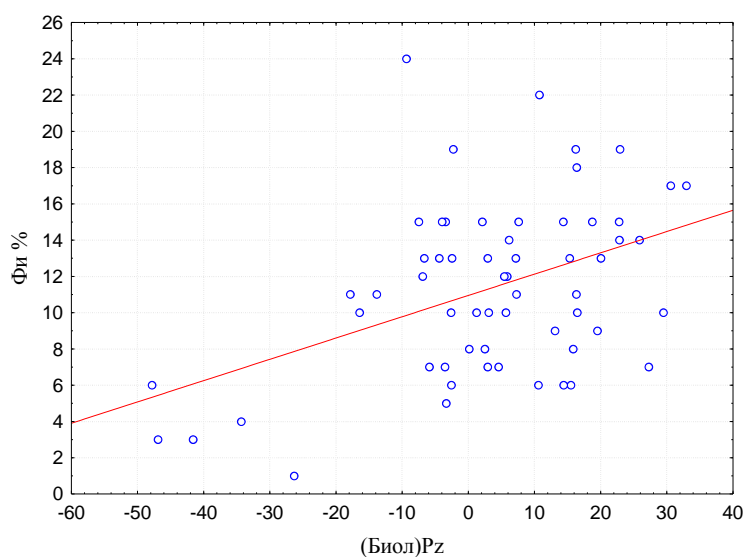


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляций величины индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическому движению и коэффициента синхронности имитации движений светового пятна. По горизонтали – значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ), по вертикали – коэффициент синхронности (%).

Для ситуации подражания небιологическому движению значимых корреляций между индексом десинхронизации сенсомоторного ритма и коэффициентом синхронности обнаружено не было (Fz ($r = -0,007$; $p = 0,96$), F4 ($r = -0,07$; $p = 0,58$), Cz ($r = -0,06$; $p = 0,65$), C4 ($r = -0,05$; $p = 0,70$) Pz ($r = -0,007$; $p = 0,96$) и P3 ($r = -0,10$; $p = 0,46$)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного исследования были выявлены особенности реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6–9 лет в условиях имитации биологического и небιологического движения.
2. При имитации детьми небιологических движений наблюдалось статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма в левом центральном отведении относительно ситуации самостоятельно выполняемых движений. Статистически значимых изменений в величине амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми биологических движений обнаружено не было.
3. Сравнительный анализ индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при имитации небιологического и биологического движения показал статистически значимые различия для отведения Pz: в ситуации подражания движениям цветового пятна наблюдалась несущественная синхронизация сенсомоторного ритма ($-0,4\%$), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация ($3,4\%$).

4. Выявлены положительные статистически значимые корреляции между коэффициентом синхронности при имитации детьми небиологического движения и значениями индекса десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическим движениям в отведениях СЗ, Cz, РЗ и Рз.

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

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта РФФИ № 18-015-00074.

Список литературы

1. Premotor cortex and the recognition of motor actions / G. Rizzolatti [et al.] // Cognitive Brain Research. – 1996. – V.3, №2. – P. 131–141
2. Ferrari P. F. New frontiers in mirror neurons research / P. F. Ferrari, G. Rizzolatti // NY: Oxford University Press. – 2015.
3. Action observation areas represent intentions from subtle kinematic features / A. Koul [et al.]. – May 2018.
4. Wohlschlagel A. Action generation and action perception in imitation: an instance of the ideomotor principle / A. Wohlschlagel, M. Gattis, H. Bekkering // Philos. Trans. R Soc. Lond., B Biol. Sci. – 2003. – P. 501–515.
5. Hannah M. Mu suppression – A good measure of the human mirror neuron system? / M. Hannah, H. M. Hobson, V. M. Bishop // Cortex. – 2016. – V. 82. – P. 290–310.
6. Simultaneous scalp recorded EEG and local field potentials from monkey ventral premotor cortex during action observation and execution reveals the contribution of mirror and motor neurons to the mu-rhythm / M. Bimbi [et al.] // Neuroimage. – 2018. – P. 175. – P. 22–31.
7. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating «seeing» and «hearing» into «doing» / J. A. Pineda // Brain Research Reviews. – 2005. – V. 50. – P. 57–68.
8. Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans / C. Babiloni [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2016. – V. 127 (1). – P. 641–54.
9. Mu-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices / D. Arnstein [et al.] // The Journal of Neuroscience. – 2011. – V. 31, №40. – P. 14243–14249.
10. Muthukumaraswamy S. D. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp / S. D. Muthukumaraswamy, B. W. Johnson, N. A. McNair // Cognitive Brain Research. – 2004. – V. 19. – P. 195–201.
11. Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand / S. Shibuya [et al.] // Neuropsychologia. – 2018. – P. 111. – P. 77–84.
12. Oberman L. M. Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis / L. M. Oberman, V. S. Ramachandran, J. A. Pineda // Neuropsychologia. – 2008. – V. 46, № 5. – P. 1558–1565.
13. Аликина М. А. Сравнение эффектов реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ в условиях синхронной имитации биологического и небиологического движений / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), №4. – С.3–12.
14. Desy M. - C. Skin color has no impact on motor resonance: Evidence from mu rhythm suppression and imitation / M. - C. Desy, J.-F. Lepage // Neuroscience Research. – 2013. – P. 77. – P. 58–63.

15. Investigating the human mirror neuron system by means of cortical synchronization during the imitation of biological movements / K. Kessler [et al.] // *NeuroImage*. – 2006. – 33. – P. 227–238.

EEG SENSORIMOTOR RHYTHM REACTIVITY UNDER CONDITIONS OF SYNCHRONOUS IMITATION OF BIOLOGICAL AND NON-BIOLOGICAL MOVEMENT IN CHILDREN AGED 6-9

Kaida A. I., Eismont E. V., Muminova L. L., Makhin S. A.

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

A sample of healthy children (N=60) aged 6–9 underwent two series of recording the EEG under consecutive conditions of relaxed wakefulness, self-produced circular hand movements with a computer mouse, and a real-time imitation of observed (on the monitor) movements of either biological (hand) or non-biological (colored spot) nature. The EEG parameters were recorded, processed, and analyzed according to the standard technique using an automatic complex consisting of an electroencephalograph (Neuron Spectrum-3) and a personal computer. The differences in the EEG sensorimotor rhythm (8–13 Hz) amplitude were analyzed separately for each series under the electrodes F_Z, F₃, F₄, C_Z, C₃, C₄, P_Z, P₃ and P₄. The condition of synchronous imitation of the colored spot movements revealed significant increase in the amplitude of sensorimotor rhythm in comparison with the preceding condition of self-controlled hand movements (C₃; $t = -2,09$; $p = 0,04$). The condition of the real-time imitation of another man's hand movements, compared to the condition of similarly performed self-paced movements, didn't produce any significant changes of sensorimotor rhythm. Comparative analysis of the synchronization / desynchronization index showed statistically significant differences for P_Z electrode site. In the condition of synchronous imitation of the colored spot movements insignificant synchronization of sensorimotor rhythm (-0.4 %) was observed. The condition of the real-time imitation of another man's hand movements revealed a significant desynchronization (3.4 %) of sensorimotor rhythm. Additionally, positive correlations were found between simultaneity coefficient in the condition of the colored spot movements imitation and sensorimotor rhythm desynchronization index in the condition of the real-time imitation of another man's hand movements for C_Z, C₃, P_Z, P₃ electrode site.

Keywords: electroencephalogram, sensorimotor rhythm, mu-rhythm, alpha-rhythm, mirror neuron system, imitation, children.

References

1. Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L., Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cognitive Brain Research*, **3**(2), 131 (1996).
2. Ferrari P. F., Rizzolatti G., New frontiers in mirror neurons research, NY: *Oxford University Press*, (2015).
3. Koul A., Cavallo A., Cauda F., Costa T., Diano M., Pontil M. and Becchio C., Action observation areas represent intentions from subtle kinematic features, (2018).
4. Wohlschläger A., Gattis M., Bekkering H., Action generation and action perception in imitation: an instance of the ideomotor principle, *Philos. Trans. R Soc. Lond., B Biol. Sci.*, **358**, 501 (2003).
5. Hannah M., Hobson H. M., Bishop V. M., A good measure of the human mirror neuron system?, *Cortex*, **82**, 290 (2016).
6. Bimbi M., Festante F., Coude G., Vanderwert R. E., Fox N. A. and Ferrari P. F., Simultaneous scalp recorded EEG and local field potentials from monkey ventral premotor cortex during action observation and execution reveals the contribution of mirror and motor neurons to the mu-rhythm, *Neuroimage*, **175**, 22 (2018).
7. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing”, *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
8. Babiloni C., De Percio C., Vecchio F., Sebastiano F. Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans, *Clin Neurophysiol*, **127** (1), 641 (2016).
9. Arnstein D., Cui F., Keyser C., Maurits N. M., Mu-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices, *The Journal of Neuroscience*, **31**(40), 14243 (2011).
10. Muthukumaraswamy S. D., Johnson B. W., McNair N. A., Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp, *Cognitive Brain Research*, **19**, 195 (2004).
11. Shibuya S., Unenaka S., Zama T., Shimada S. and Ohki Y., Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand, *Neuropsychologia*, **111**, 77 (2018).
12. Oberman L. M., Ramachandran V. S., Pineda J. A., Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis, *Neuropsychologia*, **46**(5), 1558 (2008).
13. Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B. Comparison of the EEG sensorimotor rhythm reactivity effects under conditions of synchronous imitation of biological and non-biological movement, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **3** (3), 3 (2017).
14. Desy M.-C., Lepage J.-F., Skin color has no impact on motor resonance: Evidence from mu rhythm suppression and imitation, *Neuroscience Research*, **77**, 58 (2013).
15. Kessler K., Biermann-Ruben K., Jonas M., Siebner H. R. Bäumer T., Münchau A. and Schnitzler A., Investigating the human mirror neuron system by means of cortical synchronization during the imitation of biological movements, *NeuroImage*, **33**, 227 (2006).

УДК 612.821

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ И УРОВНЯ КОГНИТИВНОГО РАЗВИТИЯ У ДЕТЕЙ 4-6 ЛЕТ

Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Рахманова С. А., Павленко В. Б.

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

Целью настоящего исследования являлось установление связей между характеристиками ЭЭГ и уровнем интеллектуального развития, а также показателями произвольного внимания детей 4–6 лет (N=35). У детей регистрировали ЭЭГ при закрытых и открытых глазах в состоянии двигательного покоя. Длительность каждой записи составляла 120 секунд. Меньшим значениям относительной мощности дельта-ритма и большим значениям мощности альфа-ритма ЭЭГ соответствовали более высокие показатели точности внимания, определяемые с помощью корректурной пробы Бурдона-Анфимова. Также были выявлены положительные корреляции между значениями относительной мощности тета-ритма ЭЭГ и показателями вербального интеллекта, определяемые с помощью теста Векслера. Отрицательные корреляции были найдены между значениями относительной мощности дельта-ритма и показателями по вербальной шкале теста Векслера «Осведомленность».

Ключевые слова: ЭЭГ, дельта-ритм, тета-ритм, альфа-ритм, бета-ритм, когнитивные функции, дети.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время когнитивные расстройства у детей представляют одну из наиболее актуальных проблем. Так, в мире по данным Всемирной организации здравоохранения, грубые нарушения умственного развития имеют 15 % детей. Нарушения когнитивных функций встречается не менее чем у 20 % детей и подростков [1]. В связи с наличием данных проблем все более актуальными становятся вопросы, связанные с диагностикой уровня развития когнитивных функций.

В изучении мозговых механизмов высших психических функций, а также в объективной диагностике состояния когнитивной сферы личности важную роль играют методы оценки биоэлектрической активности мозга [2]. В настоящее время имеется большое количество работ, посвященных исследованию взаимосвязей спектральных характеристик ЭЭГ и уровня развития внимания [3, 4]. Так, в работе А. Г. Полуниной была продемонстрирована достоверная связь между частотой дельта-ритма в лобно-височном регионе и показателями интеллекта, между частотой тета-ритма в височных отведениях и объемом кратковременной памяти, между частотой альфа-ритма в центральном и теменно-затылочном регионах и показателями в пробах на зрительно-пространственный синтез, а также между мощностью бета-ритма и скоростью психомоторных реакций [5].

Кроме того, авторы отмечают, что когнитивные операции, осуществляемые несколькими регионами мозга, производятся с помощью медленно-волновых осцилляций (дельта- и тета-ритмы), в то время как синтез простых зрительных паттернов осуществляется на более высоких частотах (альфа- и бета-диапазоны) [6].

Однако следует отметить, что многие подобные исследования проводились с участием взрослых испытуемых и подростков. В отношении детей более раннего возраста настоящие вопросы остаются малоизученными. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является установление связей между характеристиками ЭЭГ и уровнем когнитивного развития детей 4–6 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 35 практически здоровых детей 4–6 лет (19 мальчиков и 16 девочек). Поскольку испытуемые не достигли пубертатного периода, то в дальнейшем показатели ЭЭГ и психологического тестирования рассматриваются для объединенной группы мальчиков и девочек. Регистрация, обработка и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-3» (фирма «Нейрософт», г. Иваново) и персонального компьютера. Для обработки данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е.Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4) и затылочных (O1, O2) локусов по системе 10–20. Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 1,5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц. Сигналы обрабатывались с помощью быстрых преобразований Фурье.

У детей регистрировали ЭЭГ при закрытых и открытых глазах в состоянии двигательного покоя. Длительность каждой записи составляла 120 секунд.

Определяли значения относительной мощности (ОМ) ЭЭГ в следующих частотных диапазонах, соответствующих: дельта- (1–4 Гц), тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета1- (14–20 Гц) и бета2- (21–30 Гц) ритмам. ОМ для каждого ритма ЭЭГ рассчитывалась как отношение мощности отдельного ритма к сумме мощностей всех исследованных ритмов диапазона 1–30 Гц в каждом отведении. Указанный показатель отражает относительный вклад конкретного ритма в общую электрическую активность в определенном отведении ЭЭГ. Считается, что использование показателей ОМ минимизирует индивидуальные различия абсолютной мощности, связанные с возрастом, толщиной черепа и другими анатомическими факторами.

Для оценки уровня интеллектуального развития детей 4–5 лет использовали тест Векслера (WPPSI). Для оценки уровня интеллектуального развития детей 6 лет использовали тест Векслера (WISC) [7]. Оба теста состоят из 5 вербальных и 5 невербальных субтестов, которые измеряют разные способности, а в сумме дают коэффициент умственного развития ребенка (показатель IQ).

Для определения показателей «продуктивность внимания» и «точность внимания» применяли корректурную пробу Бурдона–Анфимова [8, 9]. Дети получали задание в течение пяти минут зачеркивать буквы «К» и «Р», размещенные в случайном порядке среди других букв алфавита. Данные показатели рассчитывались следующим образом: «продуктивность внимания» – количество знаков, просмотренных за пять минут; «точность внимания» – отношение всех правильно зачеркнутых знаков к количеству знаков, которые необходимо зачеркнуть, выраженное в процентах.

Участники исследования также выполняли go/no-go-тест. Испытуемым предъявляли пары (30 пар) слуховых стимулов разной тональности (высокая-высокая, высокая-низкая, низкая-низкая, низкая-высокая) с интервалами по 2 с внутри пары и по 4 с между парами. Длительность низкого и высокого сигналов составляла 200 мс. Частота низкого тона составляла 400 Гц, высокого – 1000 Гц. Пары тонов предъявлялись в случайном порядке с одинаковой вероятностью (приближающейся к 50 %) появления как низкого, так и высокого тона. Задача испытуемых заключалась в том, чтобы нажать на кнопку ведущей рукой со временем реакции не более эталонного в ответ на предъявление второго стимула пары, состоящей из двух стимулов одинаковой частоты, высокой или низкой, и не реагировать на пары сигналов, имеющих разную тональность. В результате проведения go/no-go-теста для каждого испытуемого определяли среднее время реакции (в мс), количество ошибок пропуска значимых стимулов, когда испытуемый не нажимал на кнопку при предъявлении пар стимулов, требующих нажатия, и количество ошибочных нажатий, когда испытуемый нажимал на кнопку в случае предъявления стимулов разной тональности.

Данные электрофизиологического исследования и показатели психологических тестов количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики. Для расчета корреляций использовали коэффициент корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты корреляционного анализа показали наличие многочисленных статистически значимых связей между ОМ ритмов ЭЭГ при закрытых и открытых глазах в состоянии двигательного покоя с одной стороны, и показателями, характеризующими уровень развития когнитивных функций у детей 4–6 лет, с другой стороны.

Для показателя продуктивности внимания, определяемого с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова, были найдены положительные корреляции со значениями ОМ альфа-ритма ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах (рис. 1).

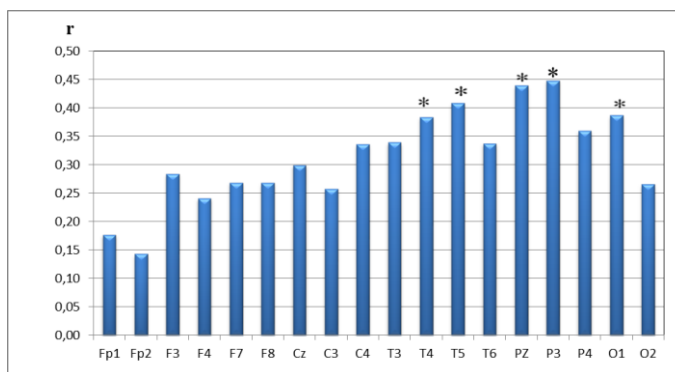


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ альфа-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями продуктивности внимания, определяемыми с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова. По горизонтали – локусы отведений, по вертикали – значения коэффициентов корреляции (r). Звездочками отмечены случаи значимости корреляционной зависимости: * $P < 0,05$.

Также, для продуктивности внимания были найдены отрицательные корреляции со значениями ОМ дельта-ритма в отведении Т6 ЭЭГ при закрытых глазах ($r = -0,38$; $p = 0,05$). Преобладание медленной ритмики дельта-диапазона в основном рассматривается как свидетельство снижения тонуса коры, замедления течения нервных процессов [9]. Подавление медленноволновой активности рассматривается рядом исследователей как один из наиболее характерных признаков повышения функциональной активности мозга [10].

Положительные связи были выявлены между значениями точности внимания, определяемыми с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова, и значениями ОМ альфа-ритма ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах (рис. 2).

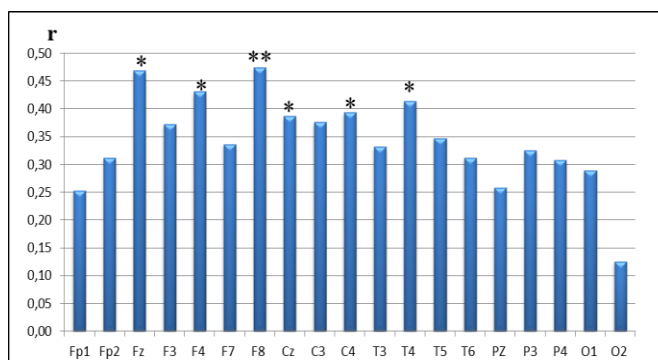


Рис. 2. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ альфа-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями точности внимания, определяемыми с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова. Двумя звездочками отмечен случай значимости корреляционной зависимости при $P < 0,01$. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Для точности внимания также были найдены положительные корреляции со значениями ОМ бета1-ритма в отведении F8 ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах ($r = 0,42$; $p = 0,03$). Кроме того, чем ниже были значения ОМ тета-ритма ЭЭГ в отведениях Cz и P4, зарегистрированной при открытых глазах, тем выше были показатели точности внимания ($-0,40 \leq r \leq -0,45$; $0,02 \leq p \leq 0,04$).

Также, чем ниже были значения ОМ дельта-ритма ЭЭГ при закрытых глазах, тем выше были показатели точности внимания (рис. 3).

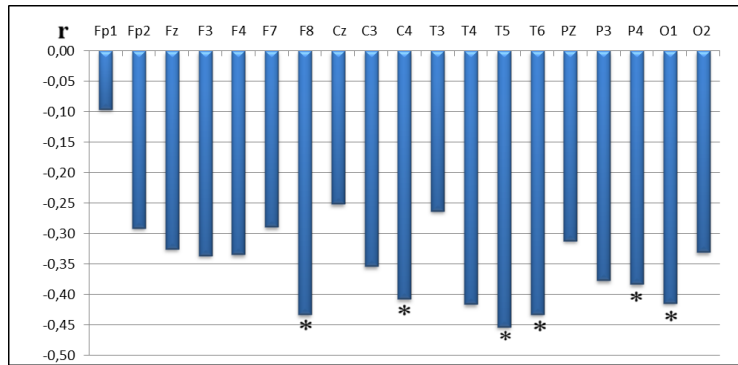


Рис.3. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ дельта-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями точности внимания, определяемыми с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Для показателей, получаемых в результате проведения go/no-go-теста, были установлены следующие связи с параметрами ЭЭГ. Так, среднее время реакции имело отрицательные корреляции со значениями ОМ альфа-ритма ЭЭГ при открытых глазах (рис. 4).

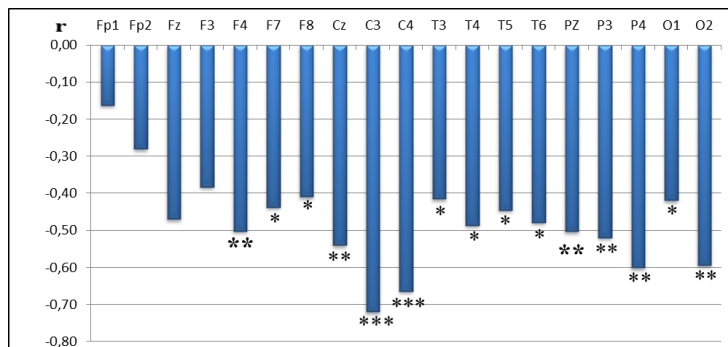


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ альфа -ритма ЭЭГ при открытых глазах с показателями среднего времени реакции в тесте go/no-go. Три звездочки отмечены случаи значимости корреляционной зависимости при $P < 0,001$. Остальные обозначения те же, что на рис. 1 и 2.

Для ситуации спокойного бодрствования с закрытыми глазами были получены отрицательные корреляции среднего времени реакции со значениями ОМ бета1-ритма ЭЭГ (в отведении Т6; $r = -0,42$; $p = 0,04$). Также, среднее время реакции имело положительные корреляции со значениями ОМ тета-ритма ЭЭГ (в отведениях С4, Р4, О1; $0,43 \leq r \leq 0,47$; $0,02 \leq p \leq 0,04$).

Число ошибок пропуска значимых стимулов имело положительные корреляции с показателями ЭЭГ при открытых глазах, а именно, со значениями ОМ тета-ритма (рис. 5).

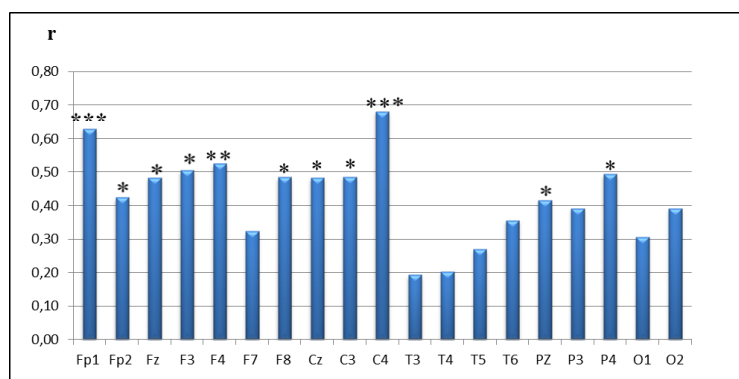


Рис. 5. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ тета-ритма ЭЭГ при открытых глазах с числом ошибок пропуска значимых стимулов в тесте go/no-go. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Также, число ошибок пропуска значимых стимулов имело отрицательные корреляции со значениями ОМ дельта-ритма (в отведениях Fp1, Fz, F3, F8; $-0,41 \leq r \leq -0,46$; $0,02 \leq p \leq 0,048$) ЭЭГ при открытых глазах. Значимые положительные корреляции были также получены для значений ОМ тета-ритма (в отведении С3; $r = 0,44$; $p = 0,03$) и отрицательные корреляции для значений ОМ бета1-ритма (в отведении F8; $r = -0,45$; $p = 0,03$) ЭЭГ при закрытых глазах.

Считают, что мощность бета-активности связана с интенсивностью когнитивных процессов, в частности с процессами обработки стимулов во фронтальных зонах коры. По данным различных исследователей, увеличение бета-ритма происходит в ситуации, связанной с предъявлением значимого стимула [11, 12]. Однако электроэнцефалографическая реакция на новые стимулы у детей представлена усилением выраженности медленных волн тета-диапазона, что отличает ее от зрелого электроэнцефалографического компонента ориентировочной реакции в виде блокады альфа-ритма.

Многочисленные корреляции были выявлены между оценками по вербальным и невербальным шкалам Теста Векслера и значениями ОМ ЭЭГ. Так, для вербального субтеста «Осведомленность» положительные связи были обнаружены со значениями ОМ тета-ритма ЭЭГ (в отведениях С4, Т4; $0,34 \leq r \leq 0,37$; $0,03 \leq p \leq 0,04$), зарегистрированной при закрытых глазах. Для ситуации спокойного бодрствования с открытыми глазами были получены положительные корреляции со значениями ОМ

тета-ритма ЭЭГ (в отведениях Cz, T5, Pz, O1, O2; $0,35 \leq r \leq 0,45$; $0,007 \leq p \leq 0,04$) и ОМ бета2-ритма (в отведениях Cz, C4; $0,35 \leq r \leq 0,39$; $0,02 \leq p \leq 0,04$).

Обратные зависимости были выявлены между оценками по вербальному субтесту «Осведомленность» и значениями ОМ дельта-ритма ЭЭГ при открытых глазах (рис. 6).

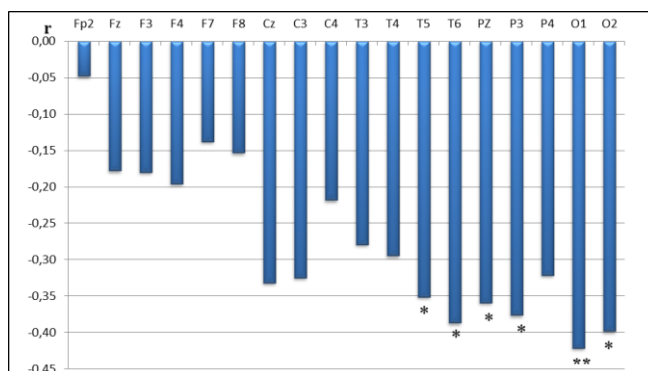


Рис. 6. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ дельта-ритма ЭЭГ при открытых глазах с показателями по вербальному субтесту «Осведомленность» в тесте Векслера. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Для вербального субтеста «Словарный» были обнаружены положительные связи со значением ОМ тета-ритма ЭЭГ (в отведениях F7, T5; $0,38 \leq r \leq 0,41$; $0,01 \leq p \leq 0,02$) зарегистрированной при закрытых глазах. Известно, что ритмические колебания тета-диапазона связаны с осуществлением когнитивных процессов – селективным фокусированием внимания, ассоциативным обучением, кратковременной памятью, извлечением следов памяти, эмоциональным реагированием [13, 14]. При эмоциональном напряжении и умственной активности в ЭЭГ может появляться и усиливаться тета-ритм. У человека выраженность тета-ритма в ЭЭГ зависит от возраста, фона основной активности, степени умственного напряжения

Для вербального субтеста «Понятливость» были получены положительные корреляции со значениями ОМ тета-ритма (в отведении O2; $r = 0,49$; $p = 0,003$), а также отрицательные корреляции со значениями ОМ дельта-ритма ЭЭГ (в отведении O2; $r = -0,34$; $p = 0,05$) и значениями ОМ бета1-ритма ЭЭГ (в отведении O1; $r = -0,34$; $p = 0,04$), зарегистрированной при открытых глазах. Положительные связи были установлены со значением ОМ тета-ритма (в отведениях C3, Pz, P3, P4; $0,36 \leq r \leq 0,42$; $0,01 \leq p \leq 0,04$) ЭЭГ при закрытых глазах.

Для невербального субтеста «Сходство» были обнаружены положительные корреляции со значением ОМ тета-ритма (в отведениях P4, O2; $0,34 \leq r \leq 0,37$; $0,03 \leq p \leq 0,05$) и отрицательные корреляции со значениями ОМ дельта-ритма (в отведениях C3, T6, P3, P4; $-0,36 \leq r \leq -0,43$; $0,009 \leq p \leq 0,02$) ЭЭГ при открытых глазах и ОМ бета2-ритма (в отведении F8; $r = -0,39$; $p = 0,02$) ЭЭГ при закрытых глазах. Также были получены положительные корреляции с ОМ тета-ритма ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах (рис. 7).

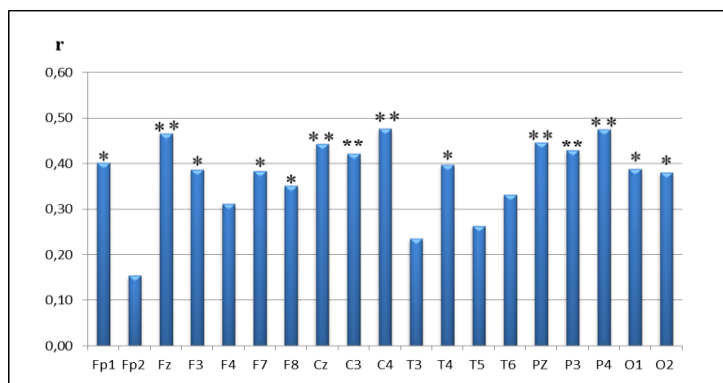


Рис. 7. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ тета-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями по невербальному субтесту «Сходство» в тесте Векслера. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Для невербального субтеста «Шифровка» были получены положительные связи со значениями ОМ дельта-ритма (в отведениях F7, F8, T4; $0,44 \leq r \leq 0,48$; $0,02 \leq p \leq 0,04$) и отрицательные со значениями ОМ тета-ритма (в отведениях F8, T4; $-0,51 \leq r \leq 0,55$; $0,008 \leq p \leq 0,01$) ЭЭГ при открытых глазах, а также отрицательные корреляции со значениями ОМ тета-ритма (в отведениях T3, T5; $-0,50 \leq r \leq -0,55$; $0,02 \leq p \leq 0,04$) ЭЭГ при закрытых глазах.

Положительные корреляции были получены между оценками по невербальным субтестам «Дома животных\Шифровка» и значениями ОМ бета1-ритма (в отведениях F8, T4, T6; $0,335 \leq r \leq 0,337$; $0,047 \leq p \leq 0,048$) и со значениями ОМ бета2-ритма (в отведениях T3, T4; $0,36 \leq r \leq 0,37$; $0,027 \leq p \leq 0,03$), отрицательные корреляции были получены со значениями ОМ тета-ритма ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах (рис. 8).

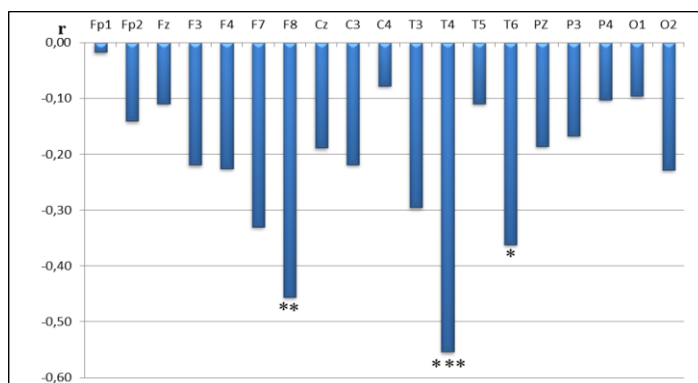


Рис. 8. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ тета-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями по невербальным субтестам «Дома животных\Шифровка» в тесте Векслера. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Также для данных шкал были найдены положительные связи со значениями ОМ бета2-ритма (в отведении F7; $r = 0,35$; $p = 0,04$) ЭЭГ при закрытых глазах.

Для невербального субтеста «Последовательные картинки» были обнаружены отрицательные корреляции со значениями ОМ тета-ритма (в отведении T4; $r = -0,47$; $p = 0,03$), ОМ бета1-ритма ЭЭГ (в отведении T5; $r = -0,50$; $p = 0,02$), зарегистрированной при закрытых глазах.

Также для данного субтеста были обнаружены отрицательные корреляции со значениями ОМ бета2-ритма ЭЭГ при закрытых глазах (рис. 9).

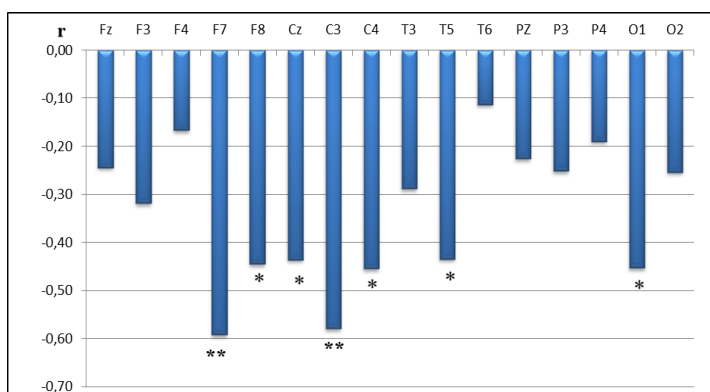


Рис. 9. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ бета2-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями по невербальному субтесту «Последовательные картинки» в тесте Векслера. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Положительные связи были получены между оценками по невербальной шкале «Лабиринты» и значениями ОМ альфа-ритма (в отведениях Pz, P3; $0,57 \leq r \leq 0,64$; $0,02 \leq p \leq 0,04$), а также значениями ОМ бета2-ритма (в отведении T3; $r = 0,55$; $p = 0,05$) ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах. Отрицательные связи были получены со значениями по данному субтесту и ОМ дельта-ритма (в отведении O1; $r = -0,61$; $p = 0,03$) ЭЭГ, зарегистрированной также при открытых глазах. Для ситуации спокойного бодрствования с закрытыми глазами были получены отрицательные корреляции со значениями ОМ бета2-ритма ЭЭГ (в отведении O1; $r = -0,69$; $p = 0,008$).

Для невербального субтеста «Складывание фигур» были обнаружены отрицательные корреляции со значениями ОМ бета2-ритма (в отведениях F7, F8; $-0,57 \leq r \leq 0,68$; $0,02 \leq p \leq 0,0005$) ЭЭГ при открытых глазах и значениями ОМ бета2-ритма (в отведении F8; $r = 0,47$; $p = 0,03$) ЭЭГ при закрытых глазах.

Положительные связи были получены между общим уровнем вербального интеллекта и значениями ОМ тета-ритма (в отведениях Pz, P4, O1, O2; $0,34 \leq r \leq 0,53$; $0,0009 \leq p \leq 0,04$), ЭЭГ при открытых глазах. Отрицательные связи были обнаружены со значениями ОМ дельта-ритма ЭЭГ (в отведениях T6, P3; $-0,35 \leq r \leq 0,36$; $0,036 \leq p \leq 0,037$), зарегистрированной при открытых глазах.

Также положительные корреляции были получены между общим уровнем вербального интеллекта и значениями ОМ тета-ритма ЭЭГ при закрытых глазах (рис. 10).

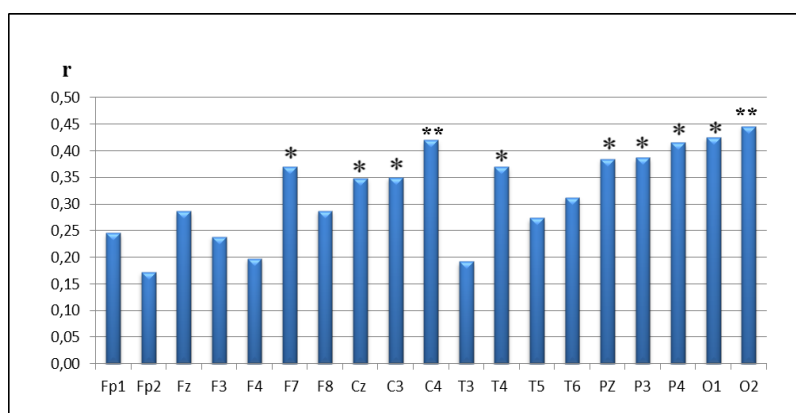


Рис. 10. Значения коэффициентов корреляции (r) ОМ тета-ритма ЭЭГ при закрытых глазах с показателями по шкале «Вербальный интеллект» в тесте Векслера. Обозначения те же, что на предыдущих рисунках.

Отрицательные связи были получены между общим уровнем невербального интеллекта и значениями ОМ бета2-ритма (в отведениях F7, F8; $-0,34 \leq r \leq -0,38$; $0,02 \leq p \leq 0,05$) ЭЭГ при открытых глазах, а также положительные связи со значениями ОМ бета1-ритма ЭЭГ (в отведении Fp1; $r = 0,37$; $p = 0,03$), зарегистрированной при открытых глазах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного исследования были выявлены статистически значимые корреляции между характеристиками ЭЭГ и показателями, характеризующими уровень когнитивного развития, у детей 4–6 лет.
2. Меньшим значениям мощности дельта-ритма и большим значениям мощности альфа-ритма ЭЭГ у детей 4–6 лет соответствовали статистически значимо более высокие показатели точности внимания, определяемые с помощью корректурной пробы Бурдона–Анфимова.
3. Более высоким значениям мощности тета-ритма ЭЭГ соответствовали статистически значимо более высокие показатели вербального интеллекта, определяемые с помощью теста Векслера; меньшим значениям мощности дельта-ритма соответствовали более высокие показатели по вербальной шкале теста Векслера «Осведомленность».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-415-92001.

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. Пизова Н. В. Когнитивные нарушения в детском возрасте / Н. В. Пизова // Педиатрия. – 2011. – № 4. – С. 34–37.
2. Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Ю. Д. Кропотов. – Донецк: Издатель Заславкий Ю. А., 2010. – 506 с.
3. Barry R. J. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography / R. J. Barry, A. R. Clarke, S. J. Johnstone // Clin. Neurophysiology. – 2003. – Vol. 114, № 2. – P. 171–183.
4. Луцюк Н. В. Связь характеристик ЭЭГ-потенциалов с уровнем развития показателей внимания у детей 12–13 лет / Е. В. Эйсмонт, В. Б. Павленко // Нейрофизиология. Neurophysiology. – 2006. – Т. 38, № 3. – С. 248–256.
5. Polunina A. G. EEG correlates of Wechsler Adult Intelligence Scale / A. G. Polunina, D. M. Davydov // Int. J. Neuroscience. – 2006. – V. 116. – P. 1231–1248.
6. Полунина А. Г. Интеллект и биоэлектрическая активность головного мозга у детей: возрастная динамика в норме и при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью. / А. Г. Полунина, Е. А. Брюн // Русский журнал детской неврологии. – 2010. – Т. 5, №3. – С. 31–46.
7. Ильина М. Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М. Н. Ильина – П.: Питер, 2006. – 368 с.
8. Рогов Е. И. Настольная книга практического психолога в образовании / Е. И. Рогов. – М: ВЛАДОС, 1995.
9. Умрюхин Е. А. Индивидуальные особенности достижения результатов целенаправленной деятельности и спектральные характеристики ЭЭГ студентов в предэкзаменационной ситуации / Е. А. Умрюхин, Т. Д. Джебраилова, И. И. Коробейникова // Психологический журнал. – 2005. – Т. 26, № 4. – С. 57–65.
10. Delta rhythm in wakefulness: evidence from intracranial recordings in human beings / R. N. Sachdev, N. Gaspard, J. L. Gerrard, L. J. Hirsch, D. D. Spencer, H. P. Zaveri // J. Neurophysiol. – 2015. – 114(2). – P. 1248–54.
11. Jensen O. On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: Sources and modeling / O. Jensen, P. Goel, N. Kopell [et al.] // NeuroImage. – 2005. – 26, 2. – P. 347.
12. Яковенко И. А. Изменения бета-ритма при введении сигналов go/nogo в паузе между целевым и пусковым стимулами / И. А. Яковенко, Е. А. Черемушкин, М. К. Козлов // Журнал ВНД им. И. П. Павлова. – 2015. – Том 65, № 4. – С. 410.
13. Basar E. The selectively distributed theta-system: Function / E. Basar, M. Schurman, O. Sakowitz // Int. J. Psychophysiol. – 2001. – V. 39, № 2–3. – P. 197–103.
14. Colgin L. L. Mechanisms and functions of theta rhythms / L. L. Colgin // Annu Rev Neurosci. – 2013. – 36. – P. 295–312.

THE RELATIONS BETWEEN EEG CHARACTERISTICS AND LEVEL OF COGNITIVE DEVELOPMENT IN CHILDREN AGED 4-6

Kaida A. I., Eismont E. V., Rahmanova S. A., Pavlenko V. B.

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

The aim of the current study was to establish links between the EEG characteristics and the level of cognitive development, as well as values of voluntary attention of children aged 4–6. A total of 35 practically healthy children participated in this study. The EEG parameters were recorded, processed, and analyzed according to the standard technique using an automatic complex consisting of an electroencephalograph (Neuron Spectrum-3) and a personal computer. The intelligence quotient was assessed using the Wechsler test (WISC) and (WPPSI). The values of voluntary attention were evaluated using the Bourdon-Anfimov proof-reading test and the «go/no-go» test. The EEG was recorded in a state of motor rest, the children were asked to relax for 120 s with with closed and opened eyes. The values of the EEG relative power were measured in the following frequency ranges: delta (1–4 Hz), theta (4–8 Hz), alpha (8–13 Hz), beta1- (14–20 Hz) and beta2- (21–30 Hz) rhythms. The differences in the EEG rhythms power were analyzed under the electrodes Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, T3, T4 and O1, O2. The lower values of the delta-rhythm relative power and the greater values of the alpha-rhythm power corresponded to higher accuracy indicators, determined using the Bourdon-Anfimov proof reading. Also, positive correlations were found between values of the theta-rhythm relative power and quantity of verbal intelligence in the Wechsler test. The average reaction time in the «go/no-go» test had negative correlations with the values of alpha-rhythm relative power. Negative correlations were found between the values of the delta rhythm relative power and the values of the «Information» scale in the Wechsler test.

Keywords: electroencephalogram, delta-rhythm, theta-rhythm, alpha-rhythm, beta-rhythm, cognitive functions, children.

References

1. Pizova N. V. Cognitive impairment in childhood, *Pediatrics*, **4**, 34 (2011).
2. Kropotov Y. D., Quantitative EEG, cognitive evoked potentials of the human brain and neurotherapy, *Donetsk: Publisher Zaslavkiy Y. A.*, 506 (2010)
3. Barry R. J., Clarke A. R., Johnstone S. J. A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography, *Clin. Neurophysiology*, **114**(2), 171 (2003).
4. Lutsyuk N. V., Eismont E. V., Pavlenko V. B. Relationship between the characteristics of EEG potentials and the level of development of attention indices in children 12–13 years, *Neurophysiology*, **38**(3), 248 (2006).
5. Polunina A. G., Davydov D. M. EEG correlates of Wechsler Adult Intelligence Scale, *Int. J. Neuroscience*. **116**, 1231 (2006).
6. Polunina A. G., Brun E. A. Intellect and bioelectrical activity of the brain in children: age dynamics in norm and in attention deficit disorder with hyperactivity. *Russian Journal of Pediatric, Neurology*, **5**(3), 31 (2010).
7. Ilina M. N. Psychological evaluation of intelligence in children, *Peter*, 368 (2006).

8. Rogov E. I. Handbook of a practical psychologist in education, *Moscow: Vldos*, (1995).
9. Umryukhin E. A., Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I. Individual features of achieving the results of purposeful activity and spectral characteristics of students' EEG in the pre-examination situation, *Psychological Journal*, **26(4)**, 57 (2005).
10. Sachdev R. N., Gaspard N., Gerrard J. L., Hirsch L. J., Spencer D. D, Zaveri H. P., Delta rhythm in wakefulness: evidence from intracranial recordings in human beings, *J. Neurophysiol.* **114(2)**, 1248 (2015).
11. Jensen O., Goel P., Kopell N. [et al.], On the human sensorimotor-cortex beta rhythm: Sources and modeling, *NeuroImage*, **26(2)**, 347 (2005).
12. Yakovenko I. A., Cheremushkin E. A., Kozlov M. K., Changes in the beta-rhythm with the introduction of go / nogo signals in the pause between the target and the trigger stimuli, *VNI them. I.P. Pavlova*, **65(4)**, 410 (2015).
13. Basar E., Schurman M., Sakowitz O., The selectively distributed theta-system: Function, *Int. J. Psychophysiol.*, **39(2-3)**, 197 (2001).
14. Colgin L. L., Mechanisms and functions of theta rhythms, *Annu Rev Neurosci.* **8** (36), 295 (2013).

УДК 574.3(477.75)

**ОЦЕНКА СИНЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ
ВИДОВ ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ
IN VITRO**

Коба В. П., Сахно Т. М.

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

Проведено изучение особенностей формирования придаточных корней черенков некоторых видов декоративных древесно-кустарниковых растений в условиях синэкологического взаимодействия. Установлено, что растения с повышенной интенсивностью образования и роста придаточных корней в большей степени влияют на концентрацию ионов водорода в среде проращивания. Показано, что при формировании парковых сообществ древесно-кустарниковые растения в группах необходимо подбирать с учетом специфики их корневых выделений по показателю рН-фактора. Биоэкологическая оптимизация структуры и состава растительных сообществ, обеспечивающая их функциональную комплементарность, повышает эффективность культивирования декоративных древесно-кустарниковых растений. Совершенствование системы и технологий формирования парковых сообществ необходимо проводить на основе использования принципа «эффекта группы», когда в составе сообщества улучшаются возможности успешного роста и развития отдельных растений, что в целом повышает устойчивость и адаптивный потенциал всей группы.

Ключевые слова: древесно-кустарниковые растения, корни, формирование, рост, синэкологическое взаимодействие, адаптация.

ВВЕДЕНИЕ

Синэкологическое взаимодействие растений относится к важнейшим явлениям, определяющим специфику формирования структуры фитоценоза, характер конкурентных отношений на видовом и внутривидовом уровне [1–3]. Особое значение эта проблема имеет для парковых сообществ, приоритетом создания которых являются формирование единого комплекса высоко декоративных групп растений, оптимизация технологий их содержания [4]. При этом не всегда в полной мере учитывается характер взаимодействия отдельных видов декоративных растений в связи с биоэкологическими особенностями их фитогенного поля. В настоящее время большинство исследований по данному направлению проведено в условиях *in situ*, где не всегда имеется возможность ограничить объем многовекторного пространства фитогенного взаимодействия, выделить и провести оценку синэкологических факторов, оказывающих воздействие на рост и развитие, формирование отдельных структур растений. Эта проблема в той или иной степени решается при проведении наблюдений *ex situ* в лабораторных условиях.

Одним из важных направлений изучения фитогенного взаимовлияния является исследование особенностей роста и развития корневых систем различных видов растений при совместном произрастании в составе парковых сообществ. Проращивание черенков индивидуально и в различном сочетании отдельных видов *in vitro* позволяет оценить специфику формирования корней в объеме контролируемого пространства, выявить особенности изменения химических показателей среды проращивания в связи с ее насыщением веществами, выделяемыми в процессе роста корней изучаемых растений [5–7].

Целью исследований являлось изучение особенностей формирования придаточных корней некоторых видов декоративных древесно-кустарниковых растений при совместном проращивании *in vitro*, оценка влияния корневых выделений на динамику pH среды проращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В весенний период в парках арборетума Никитского ботанического сада были заготовлены черенки, взятые с побегов первого порядка видов растений: тис ягодный (*Taxus baccata* L.), олеандр обыкновенный (*Nerium oleander* L.), гибискус сирийский (*Hibiscus syriacus* L.), лагерстремия индийская (*Lagerstroemia indica* L.), саркококка низкая (*Sarcococca humilis* Stapf.), падуб остролистный (*Ilex aquifolium* L.), жасмин Месне (*Jasminum mesney* Hance), бирючина блестящая (*Ligustrum lucidum* Ait.), смолосемянник Тобира (*Pittosporum tobira* Ait.), текома укореняющаяся (*Campsis radicans* (L.) Seem.), аукуба японская (*Aucuba japonica* Thunb.), жимолость душистейшая (*Lonicera fragrantissima* Lindl. et Paxt), секвойя вечнозеленая (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.).

После заготовки черенки проращивали в лабораторных условиях в стеклянных емкостях объемом 0,5 л, заполненных дистиллированной водой. Оценку особенностей роста придаточных корней проводили в трехкратной повторности отдельно для каждого вида (контроль) и в сочетании следующих пар изучаемых растений: *T. baccata* – *N. oleander*, *H. syriacus* – *L. indica*, *S. humilis* – *I. aquifolium*, *J. mesney* – *L. lucidum*, *P. tobira* – *C. radicans*, *A. japonica* – *I. aquifolium*, *L. fragrantissima* – *S. sempervirens*.

В процессе проведения исследований по каждому черенку оценивали количество корней и динамику их роста [8]. В завершении наблюдений проводили анализ pH водной среды проращивания по каждому объекту исследований согласно стандартной методике определения pH растворов, с использованием лабораторного иономера И-160М [9]. Обработку результатов наблюдений осуществляли, используя методы вариационной статистики [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Корни растений выделяют в почву различные виды водорастворимых органических соединений, включающих в том числе биологически активные вещества – стимуляторы и ингибиторы роста, которые могут оказывать влияние на развитие корневой системы рядом расположенных растений. В целом вещества,

выделяемые растениями, являются одним из компонентов фитогенного поля, обеспечивающего формирование биоэкологического пространства и определяющего специфику синэкологического взаимодействия на уровне индивида.

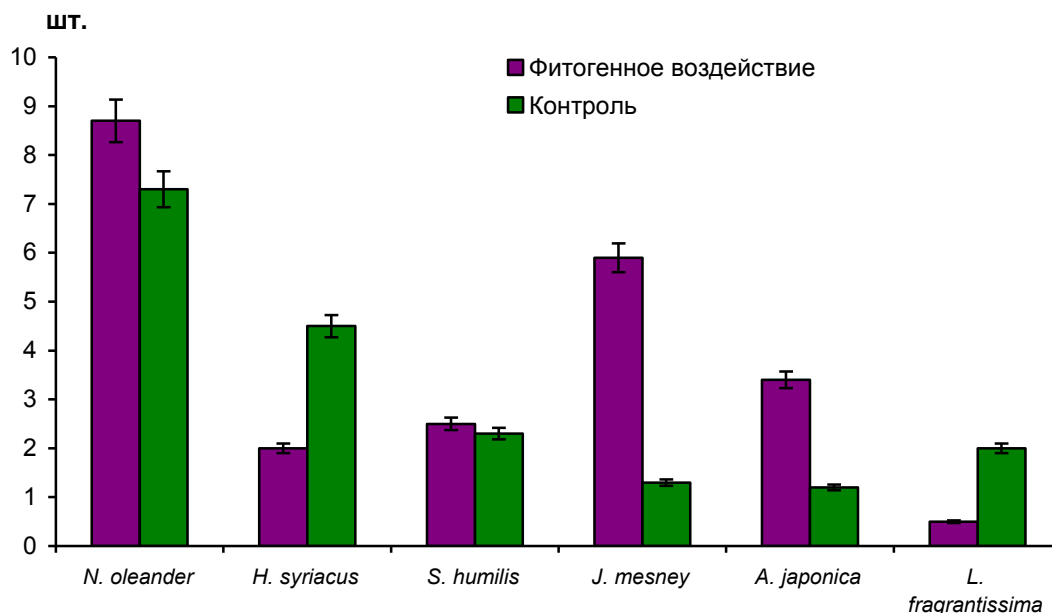


Рис. 1. Формирование придаточных корней у изучаемых растений *in vitro*

Из изучаемых пар растений, в условиях эксперимента, формирование корней было отмечено у следующих видов: *N. oleander*, *H. syriacus*, *S. humilis*, *J. mesney*, *A. japonica*, *L. fragrantissima* (рис. 1). Наибольшее число придаточных корней образовалось у *N. oleander*, средний показатель в контроле составил $7,3 \pm 0,6$, при совместном проращивании с *T. baccata* он увеличился до $8,7 \pm 0,7$. Таким образом, изменение среды проращивания, связанное с насыщением ее веществами, выделяемыми черенками *T. baccata*, оказало стимулирующее действие на формирование придаточных корней у *N. oleander*, их количество в среднем возросло на 19,2 %.

Из выделенной группы растений черенки *A. japonica* в условиях чистого водного субстрата характеризовались наиболее низким показателем числа придаточных корней, в то время как при совместном проращивании с черенками *I. aquifolium* формирование придаточных корней у *A. japonica* происходило достаточно интенсивно, средний показатель составил $3,9 \pm 0,4$, что почти в три раза больше, чем в контроле. Самое большое различие числа придаточных корней в связи с фитогенным взаимодействием наблюдалось у черенков *J. mesney*, при совместном проращивании с *L. lucidum*, их количество возросло по сравнению с контролем более чем в четыре раза.

Наиболее низкий стимулирующий эффект образования придаточных корней наблюдался у *S. humilis* при совместном проращивании с *I. aquifolium*, относительное увеличения их числа по сравнению с контролем составило 8,7 %. В целом у видов, на черенках которых образовывались придаточные корни, в большинстве случаев проявлялся стимулирующий эффект их формирования в условиях влияния веществ, выделяемых в процессе проращивания. Только в двух случаях при совместном проращивании черенков *H. syriacus* – *L. indica* и *L. fragrantissima* – *S. sempervirens* отмечалось уменьшение числа образования придаточных корней по сравнению с контролем. При этом уровень ингибирования процессов формирования придаточных корней был достаточно высоким. В первом случае число образовавшихся корней при фитогенном воздействии уменьшилось в 2,3 раза по сравнению с контролем, во втором – этот показатель составил 4. Очевидно, снижение интенсивности образования придаточных корней у *L. fragrantissima* при совместном проращивании с *S. sempervirens* связано с ингибирующими свойствами веществ тканей коры и древесины этого вида растения, что отмечено в ряде научных исследований [11, 12].

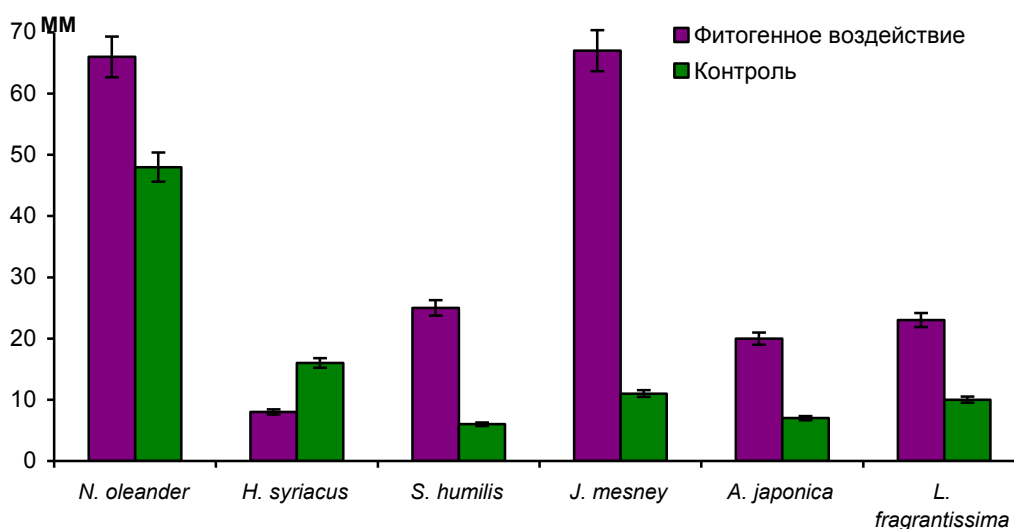


Рис. 2. Интенсивность роста придаточных корней изучаемых растений *in vitro*

Рост придаточных корней по длине у черенков изучаемых растений имел видоспецифические характеристики, близкие к показателям количества их образования. Виды растений, проявившие повышенную интенсивность формирования придаточных корней при совместном проращивании, также характеризовались более активным их ростом (рис. 2). Только у *L. fragrantissima* скорость роста придаточных корней в условиях влияния веществ, выделяемых тканями черенков *S. sempervirens* имела противоположную динамику в сравнении с показателями количества формирования придаточных корней.

Уровень различия длины придаточных корней при фитогенном взаимодействии и в контроле был выше аналогичной характеристики количества их образования. Рост придаточных корней по длине *J. mesney* при проращивании с *L. lucidum* был в 6,1 раза выше по сравнению с контролем. Очевидно, стимулирующее действие веществ насыщающих среду проращивания в различных вариантах эксперимента в большей степени оказывает влияние на деление клеток апикальной меристемы. У двудольных придаточные корни на стебле закладываются эндогенно – из камбия паренхимного происхождения в зоне сердцевидных лучей, что снижает возможность диффузии компонентов веществ внешнего воздействия в сравнении с тканями апикальной меристемы.

Сравнительная оценка количества формирования придаточных корней и интенсивности их роста выявила, что эти показатели характеризуются достаточно высоким уровнем связи, коэффициент корреляции числа придаточных корней и скорости их роста в условиях фитогенного взаимодействия составил 0,883, в контроле – 0,930. Очевидно, количество и скорость роста придаточных корней черенков изучаемых растений, отражают биоэкологический потенциал их вегетативного размножения.

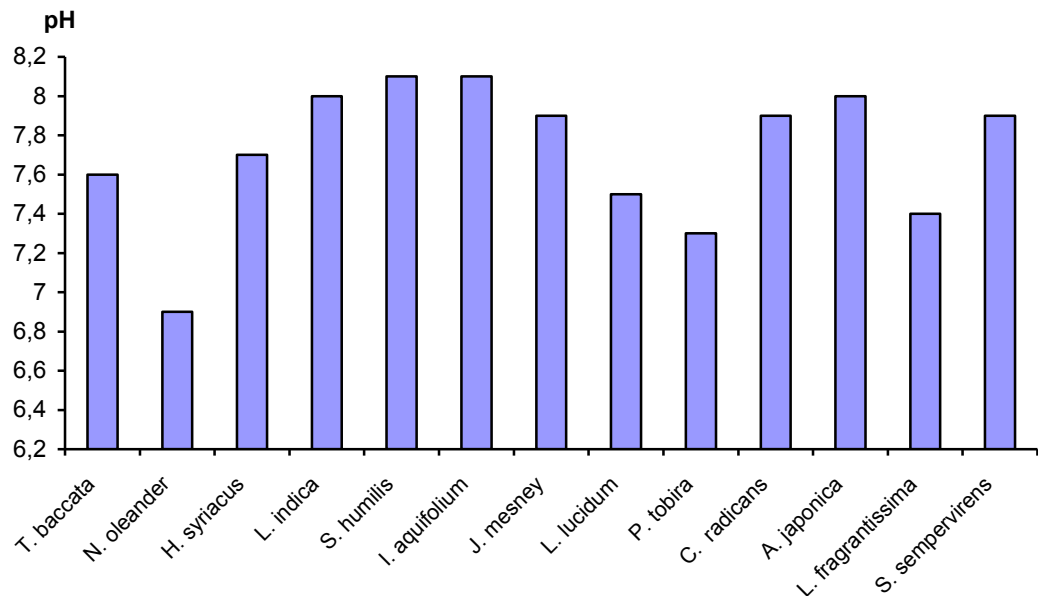


Рис. 3. Показатели pH контрольной среды проращивания изучаемых видов растений

Водородный показатель pH характеризует кислотно-основные свойства различных видов водосодержащих сред. Кислотность среды проращивания является важным фактором, определяющим особенности роста и развития корней и в целом

всего растения. Изначальный показатель рН водной среды составлял 8,2, в процессе проведения исследований он претерпел изменения в результате насыщения среды проращивания веществами, выделяемыми черенками (рис. 3). В наибольшей степени концентрация ионов водорода изменилась при проращивании черенков *N. oleander* – в конце периода наблюдений рН контрольной среды составил 6,9. Незначительное влияние на изменение рН среды проращивания оказали черенки *S. humilis* и *I. aquifolium*. Изменение концентрации ионов водорода в среде проращивания корней в определенной степени отражает уровень биоэкологической активности различных видов растений. Развитие и рост придаточных корней изучаемых растений характеризовались сравнительно высоким уровнем связи с динамикой кислотности контрольной среды проращивания.

Растения с повышенной интенсивностью формирования и роста придаточных корней в большей степени изменяли концентрацию ионов водорода в среде проращивания. Корреляция градиента кислотности контрольной среды с количеством образовавшихся придаточных корней на черенках изучаемых растений составила 0,799, для показателя длины эта связь была выше – 0,878. Таким образом, растения активного роста в наибольшей степени изменяют условия среды проращивания, насыщая ее веществами, выделяемыми при образовании и развитии их корней. Этот процесс имеет важное абиотическое и синэкологическое значение, являясь одним из элементов формирования экологической ниши. Изменяя химические свойства почвенной среды *in situ*, растения, очевидно, обеспечивают формирование благоприятных условий для развития их ризосферы. При совместном произрастании различных видов растений интенсивное насыщение почвенной среды корневыми выделениями может определить повышение их конкурентных преимуществ. В целом показатель рН в той или иной степени отражает уровень насыщения среды проращивания биологически активными веществами, выделяемыми корнями в процессе их роста и развития, что позволяет его использовать в качестве теста активности формирования корневой системы растений различных видов.

При создании парковых сообществ древесно-кустарниковые растения в отдельных группах необходимо подбирать с учетом специфики их корневых выделений, в первую очередь, уровня рН-фактора как интегрального показателя динамики химических компонентов почвенной среды. Можно предположить, что в условиях щелочной реакции почвы сочетание растений, которые в процессе формирования корневой системы снижают уровень рН почвенного субстрата, будет способствовать улучшению их роста и развития. В условиях кислых почв подобное сочетание, наоборот, будет оказывать негативное воздействие на состояние растений. В целом буферные биоэкологические свойства корневых выделений определяют процесс адаптации растений к эдафическим условиям произрастания через механизм фитогенной трансформации химических свойств почвенной среды. Эволюционно специфика данного механизма формировалась в связи с особенностями естественного ареала произрастания того или иного вида растений. В парковых сообществах, в условиях, часто существенно отличающихся от природных, в сочетании с видами иных географических ареалов древесно-

кустарниковые растения в процессе их культивирования подвергаются значительному негативному воздействию. Реализация адаптивных функций, рост и развитие инродуцированных растений сопряжены с повышенными биоэнергетическим затратами на каждом этапе онтогенеза. Успешность использования декоративных древесно-кустарниковых растений при формировании парковых ландшафтов определяется не только оптимизацией абиотических условий произрастания, но и эффективным сочетанием различных видов растений, обеспечивающих их функциональную комплементарность, возможность реализации природных механизмов фитогенной трансформации условий почвенной среды. Совершенствование системы и технологий формирования парковых сообществ необходимо проводить на основе использования принципа «эффекта группы», когда в составе сообщества улучшаются возможности успешного роста и развития отдельных растений, что в целом повышает устойчивость и адаптивный потенциал всей группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Виды растений, проявившие повышенную интенсивность формирования придаточных корней при совместном проращивании *in vitro*, характеризовались также более активным их ростом. Растения с повышенной интенсивностью образования и роста придаточных корней в большей степени влияли на концентрацию ионов водорода в среде проращивания.
2. При формировании парковых сообществ древесно-кустарниковые растения в группах необходимо подбирать с учетом специфики их корневых выделений по уровню рН-фактора как интегрального показателя фитогенной динамики химических компонентов в зоне развития корневых систем.
3. Биоэкологическая оптимизация структуры и состава растительных сообществ, обеспечивающая их функциональную комплементарность, повышает эффективность культивирования декоративных древесно-кустарниковых растений.
4. Совершенствование системы и технологий формирования парковых сообществ необходимо проводить на основе использования принципа «эффекта группы», когда в составе сообщества улучшаются возможности успешного роста и развития отдельных растений, что в целом повышает устойчивость и адаптивный потенциал всей группы.

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

Список литературы

1. Онопченко В. Г. Функциональная фитоценология. Синэкология растений Учебное пособие. Изд. 2-е, стер. / В. Г. Онопченко – М.: КРАСАНД, 2014. – 576 с.
2. Культиасов И. М. Экология растений: Учебник / И. М. Культиасов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – 384 с.
3. Ипатов В. С. Фитоценология / В. С. Ипатов, Л. А. Кирикова. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999. – 316 с.

4. Колесников А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М.: Высшая школа, 1995. – 680 с.
5. Захарова Е. И. Укоренение черенков некоторых древесных представителей семейства бобовые (*Leguminosae* Juss.), интродуцированных в Нижегородскую область / Е. И. Захарова // Экологические проблемы современности: Матер. XV Недели науки МГТУ: X Междунар. науч.-практич. конференция. – Майкоп: Изд-во МГТУ, 2007. – С. 221–223.
6. Кондратьев М. Н. Взаимосвязи и взаимоотношения в растительных сообществах: учебное пособие / М. Н. Кондратьев, Г. А. Карпова, Ю. С. Ларинова. – М.: Изд. РГАУ-МСХА, 2014. – 300 с.
7. Thorpe A. Root exudates is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis / A. Thorpe, A. Thelen, G. Diaconu [et al.] // J. Ecol. – 2009. – Vol. 97. – P. 641–645.
8. Молчанов А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1967. – 100 с.
9. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкала рН водных растворов: ГОСТ 8.134-98. – Издание официальное / Государственная система обеспечения единства измерений. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 11 с.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
11. Carr M. Shoe trees leather men search the West for nature's stores of tannin / M. Carr // Pacific Discovery. – 1956. – Vol. 9 (6). – P. 6–12.
12. Douglass F. Silvical characteristics of redwood (*Sequoia sempervirens* [D. Don] Endl.) / F. Douglass. – Berkeley, Calif.: Pacific SW. Forest & Range Exp., 1966. – 201 p.

ASSESSMENT OF SYNECOLOGICAL INTERACTION OF SOME SPECIES OF ORNAMENTAL TREES AND SHRUBS IN VITRO

Koba V. P., Sakhno T. M.

*Federal State-Funded Institution of Science «Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific center» Nikita, Yalta, Crimea, Russia
E-mail: kobavp@mail.ru*

The study of the features of the formation of cuttings additional roots of some species of ornamental trees and shrubs under the conditions of synecological interaction was conducted. In the spring period in the parks of the Arboretum of the Nikitsky Botanical Gardens cuttings taken from the shoots of the first order of plant species were harvested: *Taxus baccata* L., *Nerium oleander* L., *Hibiscus syriacus* L., *Lagerstroemia indica* L., *Sarcococca humilis* Stapf., *Ilex aquifolium* L., *Jasminum mesney* Hance, *Ligustrum lucidum* Ait., *Pittosporum tobira* Ait., *Campsis radicans* (L.) Seem., *Aucuba japonica* Thunb., *Lonicera fragrantissima* Lindl. et Paxt, *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. After harvesting, the cuttings were germinated under laboratory conditions in glass containers of 0.5 l filled with distilled water. There were three replications of the assessment of growth features of additional roots separately for each species and in combinations of the following pairs of the studied plants: *T. baccata* – *N. oleander*, *H. syriacus* – *L. indica*, *S. humilis* – *I. aquifolium*, *J. mesney* – *L. lucidum*, *P. tobira* – *C. radicans*, *A. japonica* – *I. aquifolium*, *L. fragrantissima* – *S. sempervirens*. In the process of the research on each cutting the number of roots and the dynamics of its growth were estimated. At the end of the observations, the pH of the aqueous medium of germination was analyzed for each object of research according to the standard method of determining the pH of solutions, using a laboratory ionometer I-160M. Among the studied

pairs of plants in the experiment, the highest number of adventitious roots formed on cuttings of *N. oleander* in a joint germination with *T. baccata*. Low stimulating effect of the development of additional roots were observed in cuttings of *S. humilis* in a joint germination with cuttings of *I. aquifolium*, the relative increase in their numbers compared to the control was 8.7 %. In general, the species, on the cuttings of which formed adventitious roots, in most cases showed a stimulating effect of their development under the influence of substances released during germination. Only in two cases during joint germinations of cuttings of *H. syriacus* – *L. indica* and *L. fragrantissima* – *S. sempervirens* the decrease in the number of adventitious roots comparing to the control was observed. Whereby, the level of inhibition of the processes of development of additional roots was quite high. In the first case, the number of roots formed during phytogenic exposure decreased by 2.3 times compared with the control, in the second case this figure was 4. A comparative assessment of the number of developed additional roots and the intensity of their growth had revealed that these indicators were characterized by a sufficiently high level of interrelation, the correlation coefficient of the number of additional roots and the rate of their growth in the phytogenic interaction was 0.883, in the control was 0.930. Obviously, the number and rate of growth of additional roots of cuttings of the studied plants reflect the bioecological potential of their vegetative reproduction. The initial pH value of the aqueous medium was 8.2, during the research it changed as a result of saturation of the germination medium with substances released by the cuttings. The concentration of hydrogen ions changed the most during the germination of *N. oleander* cuttings – at the end of the observation period, the pH of the control medium was 6.9. *S. humilis* and *I. aquifolium* cuttings made a slight impact on the pH change of the germination medium. The change in the concentration of hydrogen ions in the root germination medium to a certain extent reflects the level of bioecological activity of different plant species. It was found that plants with increased intensity of formation and growth of additional roots had a greater impact on the concentration of hydrogen ions in the germination medium. It was shown that in the formation of park communities, tree and shrub plants in groups and compositions must be selected taking into account the specifics of their root secretions in terms of pH-factor. Bioecological optimization of the structure and composition of plant communities, providing their functional complementarity, increases the cultivation efficiency of ornamental trees and shrubs. The improvement of technology and system of formation of park communities should be carried out on the basis of the principle of “group effect”, when the community improves the possibility of successful growth and development of individual plants, which generally increases the stability and adaptive capacity of the whole group.

Keywords: tree and shrub plants, roots, formation, growth, synecological interaction, adaptation.

References

1. Onipchenko V. G. *Functional phytocenology. Synecology of plants*, 576 p. (Moscow: KRASAND, 2014).
2. Kultiassov I. M. *Ecology of Plants*, 384 p. (Moscow: PublisherMosk. University, 1982).
3. Ipatov V. S., Kirikova L. A. *Phytocenology*, 316 p. (St. Petersburg: Publishing house St. Petersburg. University, 1999).
4. Kolesnikov A. I. *Decorative dendrology*, 680 p. (Moscow: Higher School, 1995).

5. Zakharova E. I. *Rooting of cuttings of some wood representatives of the leguminous family (Leguminosae Juss.), introduced into the Nizhny Novgorod region* (Ecological problems of the present, Maikop: MSTU Publishing House, 2007), p. 221.
6. Kondratiev M. N., Karpova G. A., Larikova Yu. S. *Interrelations and relationships in plant communities: a textbook*, 300 p. (Moscow: Izd. RGAU-MAHA, 2014).
7. Thorpe A., Thelen A., Diaconu G., Callaway R. Root exudates is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis (J. Ecol., 2009), p. 641.
8. Molchanov A. A., Smirnov V. V. *The method of studying the growth of woody plants*, 100 p. (Moscow: Nauka, 1967).
9. *State system for ensuring the uniformity of measurements. PH scale of aqueous solutions: GOST 8.134-98.*, 11 p. (Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1999).
10. Lakin G. F. *Biometrics*, 352 p. (Moscow: Higher School, 1990).
11. Carr M. *Shoe trees leather men search the West for nature's stores of tannin* (Pacific Discovery, 1956), p. 6.
12. Douglass F. *Silvical characteristics of redwood*, 201 p. (*Sequoia sempervirens* [D. Don] Endl.) (Berkeley, Calif.: Pacific SW. Forest & Range Exp., 1966).

УДК 635.054:581.144:581.55

**ОЦЕНКА ФИТОГЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАРКОВЫХ СООБЩЕСТВ НА
ПРИМЕРЕ МБУК «ДЕТСКИЙ ПАРК» (Г. СИМФЕРОПОЛЬ)**

Коренькова О. О.

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

В работе рассмотрены 13 фитонцидно-активных древесно-кустарниковых пород, образующие различные типы парковых композиций. Выявлены закономерности влияния фитогенного поля пород на сопутствующие виды, на основании чего, изучаемые таксоны были разделены на три группы по степени их взаимодействия с другими породами в композиции. Кроме того, предложены рекомендации по оптимизации существующих парковых композиций.

Ключевые слова: парковые сообщества, древесно-кустарниковые породы, фитонцидная активность.

ВВЕДЕНИЕ

Парки – это неотъемлемая часть города. Для них существенными являются вопрос масштаба (малоэтажные здания, низкорослая зелень, неширокие аллеи), использование приемов естественной, свободной планировки, отсутствие монументальности. Одним из крупных парков на территории города Симферополя является Детский парк. Заложен он в 1958 году. В настоящее время его площадь составляет около 10 га. Парк является объектом общего пользования и служит местом массового отдыха детей разных возрастных групп [1, 2].

Основой любого парка выступают типы садово-парковых композиций. Это, прежде всего, массивы, рощи, группы, аллеи, солитеры. Все они выполняют определенные функции на объектах озеленения [3, 4].

В большей степени культурфитоцинозы парковых композиций слагаются интродуцированными породами. Подбор растений для объектов ландшафтного искусства – это комплексный процесс, учитывающий декоративные качества деревьев и кустарников и их устойчивости к городским условиям, а так же соответствие функциональному назначению объекта [5, 6]. При этом совершенно не рассматривается тот факт, что все растения обладают фитогенным полем, оказывающим влияние на формирование растительного сообщества посредством фитонцидного воздействия, которое в свою очередь, определяет, как нормальное развитие растений в композициях, так и в целом их декоративный эффект [4, 7].

Целью настоящей работы является изучение влияния фитонцидно-активных древесно-кустарниковых пород на формирование целостных декоративных садово-парковых насаждений различных типов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступают 13 фитонцидно-активных древесно-кустарниковых пород: *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth., *Cedrus libani* A. Rich., *Fraxinus excelsior* L., *Juglans regia* L., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Populus nigra* L., *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Thuja occidentalis* L., *Ulmus glabra* Huds. Все они образуют различные типы садово-парковых композиций на территории МБУК «Детский парк» в городе Симферополе.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе осуществлялся подбор пород на основании существующих литературных сведений о степени фитонцидной активности деревьев и кустарников. За основу взяты работы Б. П. Токина [8], Кочергиной М. В. и Дарковской А. С. [5], Спелых В. В. [9], а также Руновой Е. М. и Гнаткович П.С. [3]. На втором этапе проводилось ландшафтно-визуальное обследование территории с выявлением садово-парковых композиций, сложенных фитонцидно-активными видами и их влияние на нормальное развитие сопутствующих пород. Кроме того, оценивались декоративные признаки сформированных парковых насаждений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории Симферопольского Детского парка присутствуют все типы садово-парковых композиций. При этом, 13 исследуемых древесно-кустарниковых пород отмечены только в четырех из них (табл.1).

Большинство насаждений Детского парка закладывались в период его создания, шестьдесят лет назад. В последнее десятилетие, регулярно проводятся посадки ценных древесных и кустарниковых пород, которые, к сожалению, не всегда удается сохранить из-за не вполне обоснованного подбора видового состава и места посадки. В настоящее время, на территории парка периодически осуществляется санитарная обрезка деревьев и кустарников, но, к сожалению, масштабной реконструкции насаждений уже несколько десятков лет не проводилось. Некоторые экземпляры находятся в неудовлетворительном состоянии и должны быть направлены в санитарную рубку.

Отмечено, что наиболее часто встречаемой породой на территории изучаемого парка выступает *Acer pseudoplatanus* и *Aesculus hippocastanum*. Это устойчивые к городской среде породы. Они активно выполняют пыле- и шумозащитную функции [10]. К сожалению, в настоящее время *Aesculus hippocastanum* страдает от каштановой минирующей моли, в результате, чего был исключен из основного списка рекомендованный для озеленения региона пород [11].

В ходе исследований выявлено, что на территории Симферопольского Детского парка различные типы садово-парковых насаждений сложены, как исключительно

фитонцидно-активными древесно-кустарниковыми породами, например, группы из *J. regia*, *F. excelsior*, *Pinus nigra subsp. pallasiana* так и с участием других пород. Всего обнаружено 8 сопутствующих видов деревьев и кустарников: *Catalpa bignonioides* Walter, *Gleditsia triacanthos* L., *Philadelphus coronarius* L., *Platanus orientalis* L., *Platyclusus orientalis* L., *Prunus cerasifera 'Pissardii'* L., *Spiraea × vanhouttei* (Briot) Zabel, *Syringa vulgaris* L.

Таблица 1
Распределение древесно-кустарниковых пород по типам парковых насаждений

Вид \ Тип парковой композиции	Аллея	Группа	Массив	Солитер
<i>Acer platanoides</i> L.			+	
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	+	+	+	
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	+	+	+	
<i>Betula pendula</i> Roth.	+	+		
<i>Cedrus libani</i> A. Rich.	+			
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	+	+	+	
<i>Juglans regia</i> L.		+		
<i>Pinus nigra subsp. pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe		+	+	
<i>Populus nigra</i> L.	+	+		
<i>Quercus robur</i> L.		+		+
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	+	+	+	
<i>Thuja occidentalis</i> L.	+			
<i>Ulmus glabra</i> Huds.		+		

В большинстве случаев достаточно четко прослеживается влияние фитогенного поля одних видов на всю композицию. Признаком фитонцидного влияния отдельных пород на виды, сопутствующие им в композиции, является формирование неправильной ассиметричной кроны и замедление роста последних. Так, показатель высоты растений в таких группах составлял на 20–30 % меньше, чем в чистых насаждениях или группах со слабофитонцидными породами. Во всех случаях композиции находились в одинаковых эдафических условиях [4].

Исследуемый ассортимент был разделен на три группы: породы, оказывающие угнетающее влияние; угнетаемые растения; «универсальные».

В первую группу (породы, оказывающие угнетающее влияние) вошли 5 видов: *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Cedrus libani*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus glabra*.

Aesculus hippocastanum – наиболее яркий представитель первой группы пород. Отмечен практически во всех типах парковых насаждений (за исключением солитерной посадки). Наибольший интерес при оценке влияния *A. hippocastanum* на другие породы представляют смешанные группы. В пределах парка отмечены

следующие типы групп: *A. hippocastanum* – *Pinus nigra subsp. pallasiana*; *A. hippocastanum* – *A. pseudoplatanus* – *Populus nigra* – *Syringa vulgaris*; *A. hippocastanum* – *C. bignonioides*. Во всех группах, сложенных соответствующим породным составом, *A. hippocastanum* оказывал подавляющее влияние. Композиции выглядели разрозненно и недекоративно. В отдельных случаях, у групп отмечалось не только снижение декоративности, но и отставание в росте отдельных ее элементов (группа *A. hippocastanum* – *C. bignonioides* .). Необходимо отметить, что сочетание в группах таких пород, как *A. hippocastanum* – *Platanus orientalis*, *A. hippocastanum* – *Prunus cerasifera subsp. pissartii*, является декоративным и подчеркивает особенности всех участников композиции. При этом, доминирования *A. hippocastanum* над перечисленными выше породами не отмечалось.

Во вторую группу таксонов (угнетаемые растения) вошли 2 вида: *Betula pendula*, *Pinus nigra subsp. pallasiana*.

B. pendula – представлена в аллеях и группах. Группы с участием *B. pendula* весьма немногочисленны и дополнены следующими породами: *A. hippocastanum* и *R. pseudoacacia*. Все эти породы входят в первую группу (оказывающие угнетающее влияние). Группы, образованные данным сочетанием пород, недекоративны и нуждаются в оптимизации, т.к. *B. pendula* испытывает сильное угнетение. При этом *B. pendula*, будучи весьма декоративной породой (за счет нежной листвы и ажурной кроны, как в осенний период, так и на протяжении всего года) прекрасно себя чувствует в сочетании с такими породами как: *Q. robur* и *Fraxinus excelsior*. Группа *B. pendula* – *Q. robur* декоративна за счет сочетания сразу нескольких факторов, таких как, форма кроны, форма и окраска листовой пластинки. Группу *B. pendula* – *F. excelsior* отличает фактурность крон и контрастность форм листовых пластин.

Отдельно необходимо отметить еще одного представителя группы угнетаемых растений – *P. nigra subsp. pallasiana*. Этот таксон на территории парка встречается лишь в группах и массивах. В группе сочетается с: *Quercus robur*, *A. pseudoplatanus*, *R. pseudoacacia*, *F. excelsior*, *J. regia* и *A. platanoides*. Во всех группах с участием *P. nigra subsp. pallasiana* было отмечено не только влияние на эту породу фитогенного поля сопутствующих видов, но и загущенность садово-парковых композиций. *P. nigra subsp. pallasiana* – светолюбивая порода и не переносит затенения. В результате чего, именно загущенность посадок является основной причиной угнетения этой породы и потери ею декоративности. Подобное явление характерно и для другого крупного парка города Симферополь – ЦПКиО им. Ю. А. Гагарина [4]. В качестве приемов оптимизации композиций, образованных с участием *P. nigra subsp. pallasiana*, необходимо рекомендовать прореживание таких групп, кроме того, можно высаживать *P. nigra subsp. pallasiana* в сочетании с *Catalpa bignonioides*. Такие группы высокодекоративны и долговечны.

Третья группа – «универсальные» растения – представлена следующими породами: *A. platanoides*, *Q. robur*, *F. excelsior*, *Juglans regia*, *T. occidentalis*, *U. glabra*. Все эти таксоны в равной степени, как испытывают угнетение, так и сами угнетают сопутствующие породы.

Одним из представителей этой группы выступает *U. glabra*. Этот таксон представлен в группах, где испытывает угнетение от *Q. robur*, *A. pseudoplatanus*,

A. hippocastanum, *A. platanoides*. В качестве доминирующей породы выступает в сочетании с *B. pendula*, *P. nigra subsp. pallasiana*, *F. excelsior*. При этом, как в первом случае, так и во втором, композиции в равной степени не декоративны и нуждаются в оптимизации. Среди слабофитонцидных пород, произрастающих в группах с *U. glabra*, наиболее декоративными являются *C. bignonioides*, *S. vulgaris*, *S. × vanhouttei*.

В ходе проведения исследований были обнаружены группы растений (основная порода – поросль сопутствующих пород), которые гармонично развиваются и выглядят декоративно, не испытывая угнетения, вне зависимости от группы фитонцидности, в которой они находятся. Вероятно, причиной этого является то, что сопутствующие породы развивались под пологом зрелого хорошо сформированного растения, в результате чего адаптировались к влиянию фитогенного поля последнего.

На основании проведенных исследований выявлено две породы, которые проявили себя, как наиболее устойчивые к воздействию фитонцидно-активных деревьев: *Catalpa bignonioides* и *Gleditsia triacanthos*. Это единственные породы, среди изученных видов, не подвергающиеся негативному влиянию других пород. Кроме того, отличаются декоративностью на протяжении всего вегетационного периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эстетичность и долговечность садово-парковых композиций зависит от подбора растений, не только с точки зрения их декоративности и устойчивости к городской среде, но и их взаимного влияния. Существующие садово-парковые насаждения наиболее четко демонстрируют эту связь. Для повышения устойчивости, экологической пластичности и долговечности искусственных растительных сообществ в их составе должны присутствовать, наряду с взаимостимулирующими, растения антагонисты, оптимизирующие энергетический баланс развития растительного сообщества. При создании новых насаждений желательно использовать породы наиболее устойчивые к влиянию других древесно-кустарниковых видов (*Catalpa bignonioides*, *Gleditsia triacanthos* и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15–29–02596

Список литературы

1. Коренькова О. О. Принципы благоустройства детских парков / О. О. Коренькова, Е. В. Самарина // Материалы III научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» – Симферополь, 2017. – С. 374–375.
2. Коваленко И. Экскурсионный путеводитель по Крыму / И. Коваленко, Е. Голомолзин – Санкт-Петербург: ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг», 2015. – 43 с.
3. Рунова Е. М. Оценка типов садово-парковых насаждений и оптимизация пространственной структуры озелененных территорий г. Братска / Е. М. Рунова, П. С. Гнаткович // XIV

- Международная научно-техническая конференция "Лес-2014" (1 мая–1 июня 2014 г. Брянск) – Брянск, 2014. – С. 164–167.
4. Коренькова О. О. Роль фитонцидно активных древесно-кустарниковых пород в садово-парковых композициях на примере ПКиО им. Ю. А. Гагарина (г. Симферополь) / О. О. Коренькова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2016. – Том 2 (68). № 4. – С. 37–43.
 5. Кочергина М. В. Фитонцидные свойства насаждений петровского сквера г. Воронежа / М. В. Кочергина, А. С. Дарковская // IX Международная научно-техническая конференция "Лесной комплекс: состояние и перспективы развития" (1–30 ноября 2009 г. Брянск) – Брянск, 2009. – С. 258–261.
 6. Теодоронский В. С. Ландшафтная архитектура и садово-парковое искусство / В. С. Теодоронский, В. Л. Машинский. – Москва: МГУЛ, 2001. – 95 с.
 7. Горелов А. М. Роль фитогенного поля в формировании пространственных структур древесного растения / А. М. Горелова // Modern Phytomorphology. – 2012. – Т.1. – С. 137–141.
 8. Токин Б. П. Целебные яды растений. Повесть о фитонцидах / Токин Б. П. – Ленинград: Лениздат, 1974. – 344 с.
 9. Спелых В. В. Антимикробные и ионизирующие свойства древесной растительности под влиянием абиотических факторов: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. биол. наук: 06.03.02 / В. В. Спелых. – С.-П.: 2010. – 39 с.
 10. Боговая И. О. Ландшафтное искусство: Учебник для вузов / И. О. Боговая, Л. М. Фурсова – М.: Агропромиздат, 1988. – 223 с.
 11. Костюков В. В. Первое сообщение о паразитах каштановой моли в России / В. В. Костюков, О. В. Кошелева, И. В. Наконечная, З. М. Гунашева // Защита и карантин растений. – 2014. – № 9. – С. 41–42.

EVALUATION OF PHYTOGENIC INTERACTION OF CERTAIN TYPES OF WOOD PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF PARK COMMUNITIES IN THE EXAMPLE OF «CHILDREN'S PARK» (G. SIMFEROPOL)

Korenkova O. O.

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

Simferopol greening area has long been his trademark. The largest park in the city is the Children's park. Every day it is visited by hundreds of residents, increasing their physical and psycho-emotional state through contact with nature in the middle of the metropolis.

The object of the study is 13 phytoncide active trees and shrubs. The studies were conducted in two phases. The first – carried out the selection of species based on existing literature data on the extent of trees and shrubs phytoncide activity. In the second phase – conducted landscape and visual inspection of the territory with the identification of landscape gardening compositions composed phytoncide active species and their impact on the normal development of related species.

On the territory of the recreation park them has all types of garden-park art. In this study 13 trees and shrubs are marked only in five of them. It was noted that the most frequent breed in the territory of the park stands studied *Acer pseudoplatanus* и *Aesculus*

hippocastanum. Aesthetics and durability of garden-park art is directly dependent on the selection of plants, not only in terms of decoration and sustainability to the urban environment, but also their mutual influence.

The existing garden and parkland demonstrate this relationship most clearly. To optimize slightly ornamental compositions must be timely thinning and sanitary felling. When creating a new breed of plants is desirable to use the most resistant to the influence of other tree and shrub species (*Catalpa bignonioides*, *Gleditsia triacanthos* and others.).

Keywords: types of garden-park art, trees and shrubs, phytoncide activity.

References

1. Korenkova O. O., Samarina E. V. *Principles for the improvement of children's parks* (Days of Science of V. I. Vernadsky Crimean Federal University, 2017), p. 374.
2. Kovalenko I., Golomolzin E. *Excursion Guide to Crimea*, 43 p. (First Publishing and Printing Holding, 2015).
3. Runova E. M., Gnatkovich P. S. *Evaluation types of landscaping plants and optimization of the spatial structure of green areas of Bratsk* ("Forest 2014", 2014), p. 164.
4. Korenkova O. O. The role of phytoncidally active wood-shrubby species in garden and park compositions on the example of the PKI O. I. Yu. A. Gagarin (Simferopol), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **2 (68), 4**, 37 (2016).
5. Kochergin M. V., Darkovskaya A. S. *Phytoncidal properties plantations Peter's Square in Voronezh* (Forestry: Status and Prospects for Development, 2009), p. 258.
6. Theodorovsky V. S., Mashinsky V. L. *Landscape architecture and landscape architecture*, 95 p. (Moscow: MGUL, 2001).
7. Gorelov A. M. A role of the phytogenous field in formation of spatial structures of a wood plant, *Modern Phytomorphology*, **1**, 137 (2012).
8. Tokin B. P. *Medicinal plant poisons. Tale of phytoncides*, 344 p. (Lenizdat, 1974).
9. Spelih V.V. *Antimicrobial and ionizing svoysva woody vegetation under the influence of abiotic factors*: Author. diss. on soisk. scientific degree of Cand. biol. Sciences, 39 p. (2010).
10. Bogovaya I. O., Fursova L. M. *Landscape art: Textbook for Universities*, 223 p. (Agropromizdat, 1988).
11. Kostyukov V. V., Kosheleva O. V., Nakonechnaya I. V., Gunasheva Z. M. The first report on chestnut moth parasites in Russia, *Protection and quarantine of plants*, **9**, 41 (2014).

УДК 574.2:581.5

РЕАКЦИЯ ФЕНОИНДИКАТОРОВ УМЕРЕННЫХ ШИРОТ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В СУХИХ СУБТРОПИКАХ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ

Корсакова С. П.

*ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта,
Республика Крым, Россия
E-mail: korsakova2002@mail.ru*

Проведено тестирование трех фенологических моделей для прогнозирования сроков развертывания листьев, начала цветения и оценки возможных сдвигов весеннего развития панареальных феноиндикаторов *Syringa vulgaris* L., *Rosa canina* L. и *Tilia cordata* Mill. в связи с изменением климата. На основе данных наблюдений оптимизированы даты начала накопления тепловых единиц после завершения периода покоя, необходимые суммы для начала фенофаз и пороговые температуры. Начальной датой для накопления единиц охлаждения было выбрано 1 ноября. Для параметризации моделей использованы фенологические наблюдения и суточные значения температуры воздуха за период с 1936 по 2017 годов. Тестирование показало высокую степень адекватности при прогнозировании дат развертывания листьев и начала цветения моделью МЗ, учитывающей влияние фотопериода.

Ключевые слова: фенологические модели, изменения климата, развертывание листьев, цветение, Южный берег Крыма.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ и прогнозирование «отклика растений» на различные по степени интенсивности климатические изменения в настоящее время являются основными проблемами геоэкологических исследований [1, 2]. Изучению таких откликов отводят особую роль, так как именно изменения в жизни растений могут существенно повлиять как на отдельные компоненты экосистемы, так на всю экосистему в целом [3]. Обобщенные анализы наблюдений, проводимых в Северном полушарии большей частью в прошлом столетии, показали заметное смещение дат наступления фенологических событий в последние десятилетия [4–6]. Основным фактором этих смещений является повышение температуры воздуха, связанное с изменением климата, особенно в зимний и весенний периоды года [6–9]. Однако в разных регионах Северного полушария фенологические тренды или реакция растений на потепление различны [6]. Это может быть связано с региональными особенностями формирования климата, условиями местообитания [10] и эколого-биологическими особенностями видов, их фенотипической пластичностью [11, 12]. Систематические наблюдения за одним и тем же объектом в различных географических пунктах позволяют установить скорость прохождения этих

изменений в широтном и долготном направлениях и определить величину фенологических градиентов. В качестве объектов для систематических наблюдений с целью оценки и прогнозирования состояний геосистемы используют индикаторные виды растений – феноиндикаторы. Наибольший интерес для оценки и прогнозирования состояния геосистемы при изменении климата представляют панареальные феноиндикаторы – те, которые сохраняют устойчивое индикационное значение на всей той территории, в пределах которой они встречаются [13].

Так, зацветание сирени (*Syringa vulgaris* L.) на всем ее ареале сохраняет свое значение как один из основных индикаторов последнего подсезона весны [14]. Дата начала цветения шиповника (*Rosa canina* L.) традиционно определяет начало лета [15], а зацветание липы секции *Eutilia* Neibr. (*Tilia cordata* Mill, и *T. amurensis* Rupr.) – панареальный индикатор наступления его середины [6, 14]. Эти виды довольно широко распространены на территории Южного берега Крыма (ЮБК) в лесах и в парках.

В качестве основного инструмента, связывающего сроки наступления фенологических явлений с климатическими факторами, используются фенологические модели [16, 17]. Простейшие фенологические модели основаны на простом суммировании температур, превышающих заданный порог от определенной даты до наступления фенологического события [16]. Более сложные также дополнительно учитывают потребность растения в накоплении единиц охлаждения, необходимых для завершения периода покоя [18]. В настоящее время разработано множество таких моделей для листопадных, хвойных древесных и плодовых пород умеренной зоны [16, 18–20], однако фенологическая реакция растений на климатические изменения в субтропиках до сих пор изучена недостаточно.

Цель работы – практическая реализация фенологических моделей для прогнозирования сроков весеннего развития панареальных феноиндикаторов в условиях сухих субтропиков России и ожидаемые их изменения до конца XXI века.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы результаты фенологических и метеорологических наблюдений (данные агрометеостанции Никитский сад) на территории центральной части ЮБК в районе Никитского ботанического сада (44°31'СШ, 34°15' ВД). Агрометеорологическая станция Никитский сад расположена в непосредственной близости от наблюдательного участка (менее 200 м). Климат ЮБК субтропический средиземноморского типа, характеризуется жарким сухим летом и мягкой влажной зимой. Средняя годовая температура воздуха составляет 12,6 °С, а среднегодовое количество осадков – 592 мм [21].

Репрезентативные данные температур воздуха за 1936–2017 гг. были получены из опубликованных агрометеорологических бюллетеней (форма ТСХ–8) и архива агрометеостанции Никитский сад. Исходные данные фенологических наблюдений за развертыванием первых листьев (РЛ) и началом цветения (Ц) сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L., РЛ: 1953–2017 гг. ; Ц: 1937–2017 гг.); шиповника собачьего (*Rosa canina* L., РЛ: 1954–2017 гг.; Ц: 1947–2017 гг.) и липы

сердцевидной (*Tilia cordata* Mill., РЛ: 1953–2017 гг.; Ц: 1937–2017 гг.) были собраны в единую базу данных из различных архивных документов агрометеостанции Никитский сад. В течение последних 25 лет, с 1993 по 2017 гг. наблюдения велись автором. Фенологические наблюдения проводились по единой методике [22] на постоянном участке и объектах, а накопленной базой данных обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности.

Для тестирования фенологических моделей использовались данные нечетных годов, а для валидации – четных. Датой наступления фазы развития считался день ее наступления не менее чем у 50 % растений [22]. В данном исследовании были протестированы три фенологические модели. Для каждой модели Sf_t – состояние внешнего воздействия (state of forcing), $Sf_t = F^*$ – необходимая сумма тепловых единиц (F^*) для наступления фазы развития, где t – время (сутки), $t = t_2$ – дата наступления фенофазы (день года (DOY)). Sc_t – состояние охлаждения (state of chilling), C^* – необходимая минимальная сумма единиц охлаждения для завершения периода органического (эндогенного) покоя, t – время (сутки), $t = t_1$ – дата выхода из органического покоя: потребность в единицах охлаждения (C^*) выполнена, начало внешнего воздействия (день года (DOY)). t_0 – начало периода накопления единиц охлаждения, (день года (DOY)); T_t – среднесуточная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); T_b – базовая температура для накопления сумм тепловых единиц ($^{\circ}\text{C}$); $Topt$ – оптимальная температура для накопления единиц охлаждения ($^{\circ}\text{C}$); DL – продолжительность светового дня (ч); β и γ – константы ($\beta > 0$, $\gamma < 0$); c – показатель значимости фотопериода.

M1 – модель внешнего воздействия (forcing model (F)) – классическая простая тепловая модель накопления сумм тепловых единиц (GDD), описывает линейную реакцию растения на температуру, превышающую базовую (T_b), которая предполагает, что к началу года потребность в охлаждении была выполнена или растение не нуждается в пониженных температурах [18]:

$$Sf_t = \sum_{t=t_1}^{t=t_2} \begin{cases} 0, & T_t < T_b \\ T_t - T_b, & T_t \geq T_b \end{cases} \text{ , где } Sf_{t_2} = F^* \text{ .} \quad (1)$$

Модель M1 содержит всего три параметра, которые необходимо определить (t_1 , T_b и F^*).

M2 – последовательная модель «охлаждение-внешнее воздействие» (chilling-forcing model (CF)) учитывает экспоненциальную зависимость между потребностью растения в охлаждении и накоплением сумм тепловых единиц. Накопление тепловых единиц не начинается до тех пор, пока не наступит предельная аккумуляция единиц охлаждения для завершения органического покоя. Описание модели M2 [19]:

$$S_{c_t} = \sum_{t_0}^{t_1} \begin{cases} 0, & T_t \leq -3,4 \text{ или } T_t > 10,4 \\ \frac{T_t - (-3,4)}{T_{opt} - (-3,4)}, & -3,4 < T_t < T_{opt} \\ \frac{T_t - 10,4}{T_{opt} - 10,4}, & T_{opt} < T_t < 10,4 \end{cases}, \text{ где } S_{c_{t1}} = C^*, \quad (2)$$

$$Sf_t = \sum_{t_1}^{t_2} \begin{cases} 0, & T_t < T_b \\ \frac{28,4}{1 + e^{-0,185(T_t - T_b - 18,4)}}, & T_t \geq T_b \end{cases}, \quad (3)$$

$$\text{и } Sf_{t_2} = F^* = \beta e^{\gamma S_{c_{t_1}}}, \quad (4)$$

В этой модели определены пять параметров (t_1 , T_{opt} , T_b , β и γ). Накопление сумм единиц охлаждения начинали с фиксированной даты $t_0 = 1$ ноября.

М3 – также последовательная CF, суммы накопления единиц охлаждения рассчитываются по уравнению (2), а соотношение между состоянием внешнего воздействия и состоянием охлаждения – по уравнению (4). Уравнение (4) – модифицированное продолжение модели М1 с накоплением свето-термальных единиц, учитывающих влияние фотопериода (DL) на развитие растений [20]:

$$Sf_t = \sum_{t_1}^{t_2} \begin{cases} 0, & T_t < T_b \\ (T_t - T_b) \times \left(\frac{DL}{10}\right)^c, & T_t \geq T_b \end{cases} \quad (5)$$

Этот подход имеет некоторое преимущество, особенно если модель используется для выяснения возможных изменений в сроках фенологических событий из-за изменения климата. Константа 10 в знаменателе – параметр нормирования, применяющийся для сопоставимости рассчитанных Sf_i значений с исходными данными. Модель М3 содержит шесть параметров, которые необходимо оптимизировать (t_1 , T_{opt} , T_b , β , γ и c). Накопление сумм единиц охлаждения начинали с фиксированной даты $t_0 = 1$ ноября.

Параметры фенологических моделей на основе созданной электронной базы данных были определены эволюционным методом оптимизации с помощью надстройки Microsoft Excel «поиск решения» (SolveXL). Эволюционный метод использует генетический алгоритм (ГА), который является более гибким инструментом для решений хороших, близких к оптимальным сложных проблем для «негладких» функций [23].

Сравнение точности аппроксимации моделей осуществляли при помощи 4 индексов: коэффициента детерминации (R^2), корня из среднеквадратичной ошибки (Root Mean Squared Error – $RMSE$), скорректированного информационного критерия Акаике (AIC_c) и смещения ($Bias - \theta$):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - pre_i)^2}{\sum_{i=1}^n (obs_i - \overline{obs_i})^2}, \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - pre_i)^2}{n}}, \quad (7)$$

$$AIC_c = n \times \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - pre_i)^2}{n} \right) + 2 \times k + \left(\frac{2 \times k \times (k + 1)}{n - k - 1} \right), \quad (8)$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n (obs_i - pre_i)}{n}, \quad (9)$$

где: obs_i – наблюдаемая, $\overline{obs_i}$ – средняя наблюдаемая, pre_i – прогнозная дата наступления фенофазы (в днях года), n – число лет наблюдений, k – число параметров модели.

Для прогнозирования возможных сдвигов весеннего развития растений при изменении климата использованы результаты расчетов в рамках международного проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) [24]. В проекте CMIP5 используется прогнозный набор эмиссий по четырем сценариям, известным как Репрезентативные Траектории Концентраций (RCP), связанные со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 году на разных уровнях: 2.6, 4.5, и 8.5 Вт/м². Цифры обозначают приращение глобального радиационного баланса (Вт/м²) с доиндустриального периода до 2100 г., обусловленное соответствующими эмиссиями парниковых газов (ПГ). Из набора сценариев для характеристики будущих климатических изменений чаще всего используются RCP4.5 и RCP8.5. Как по совокупности допущений, так и по соответствию реальности первых лет прогноза наиболее реалистичным был определен RCP4.5.

Суточные данные метеовеличин за исторический период (1980–2005 гг.) и результаты климатического моделирования CMIP5 (2015–2099 гг.) были предоставлены Международным центром по тропическому сельскому хозяйству (CIAT) и Исследовательской программой КГМСХИ по изменению климата, сельскому хозяйству и продовольственной безопасности (CCAFS) [25]. В данной работе использованы выходные данные среднесуточных температур воздуха по ансамблю из 5 климатических моделей семейства CMIP5: BCC-CSM1.1, BCC-CSM1.1(m), IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM и MPI-ESM-MR хорошо воспроизводящих тренды среднегодовой и сезонных температур, а также суммы температур выше 0 °С для территории Крыма [26].

По сценарию RCP4.5 к концу XXI века, относительно 1981-2000 гг. на ЮБК ожидается следующий рост средних месячных температур: января – на 2,3 °С; февраля – на 2,1 °С; марта – на 2,2 °С; апреля – на 2,4 °С; мая – на 2,5 °С; июня – на 2,8 °С; июля – на 3,0 °С; августа – на 3,1 °С; сентября – на 2,9 °С; октября – на 2,7 °С; ноября – на 2,4 °С и декабря – на 1,9 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании фенологических данных, для сирени, шиповника и липы рассчитаны средние даты разворачивания первых листьев и начала цветения в условиях Южного берега Крыма. Расчеты выполнены за весь период наблюдений с 1937 по 2017 годы (для шиповника – за 1947–2017 гг.), а также за отдельные отрезки в течение этого временного интервала с целью оценки фенологического отклика на существенные изменения в термическом режиме последних десятилетий (табл. 1). Для выявления связи наступления фенологических событий с устойчивым переходом средних суточных температур воздуха весной через определенный температурный порог, между ними дополнительно были рассчитаны коэффициенты парной корреляции.

Таблица 1
Фенологический отклик индикаторных видов растений на климатические изменения температурного режима Южного берега Крыма в 1937–2017 гг.

Показатель		Индикаторные виды растений					
		Сирень обыкновенная		Шиповник собачий		Липа сердцевидная	
		РЛ***	Ц****	РЛ***	Ц****	РЛ***	Ц****
Средняя дата за период	1937–2017 гг.*	10.IV±11	6.V±7	3.IV±13	24.V±8	27.IV±8	22.VI±10
	1961–1990 гг.	9.IV±9	4.V±8	4.IV±10	23.V±8	28.IV±8	25.VI±9
	1991–2017 гг.	11.IV±12	4.V±7	2.IV±16	23.V±8	27.IV±9	17.VI±8
	2001–2017 гг.	6.IV±11	4.V±8	29.III±13	21.V±7	25.IV±7	15.VI±7
Зависимость (г**) весеннего развития от устойчивого перехода температуры воздуха через порог:	5 °С	0,42	0,46	0,61	0,44	0,38	0,28
	6 °С	0,53	0,62	0,64	0,49	0,47	0,23
	7 °С	0,52	0,56	0,50	0,50	0,50	0,26
	8 °С	0,40	0,61	0,30	0,54	0,50	0,40
	9 °С	0,41	0,68	0,30	0,67	0,57	0,34
	10 °С	0,37	0,70	0,22*****	0,56	0,58	0,29

* – для шиповника период наблюдений составляет 1947–2017 гг.; *г – коэффициент парной корреляции; **РЛ – дата разворачивания первых листьев; ***Ц – дата начала цветения; ***** – коэффициент корреляции не значим на 5 % уровне

Полученные результаты показали, что за период с 1937 по 2017 годов у сирени и шиповника были относительно стабильные средние показатели сроков разворачивания первых листьев за весь период наблюдений и в течение XX века. Максимальный фенологический отклик наблюдался в первые десятилетия XXI века, когда произошел существенный их сдвиг на более ранние сроки: у сирени – на

4 дня, у шиповника – на 6 дней. При этом отмеченное смещение средних дат зацветания в два раза меньше: сирени – только на 2 дня, а шиповника – на 3 дня. У липы максимальный фенологический отклик на изменение температурного режима также проявился в XXI веке, но несколько иначе. Средняя дата развертывания первых листьев, которая отмечается в последней декаде апреля, изменилась незначительно – всего на 2 дня, а вот цветение – на неделю. Произошедшие сдвиги в весеннем развитии хорошо согласуются с результатами детальных исследований на Южном берегу Крыма динамики временных границ климатических сезонов, проведенных нами ранее [27]. Значительное повышение среднесуточных температур воздуха после 2000 года в марте и в начале апреля ускорило ранневесенние процессы развития растений, что нашло отклик в более ранних сроках развертывания листьев у сирени и шиповника. В то же время, даты устойчивого перехода температур через 10 °С, приходящиеся на третью пентаду апреля и характеризующие период активной вегетации, отличались наибольшей стабильностью. Несущественно изменились и сроки перехода температур через 15 °С, символизирующие наступление фенологического лета, климатическая норма которого приходится в Никитском саду на 13 мая. Как результат, относительная стабильность в сроках цветения сирени и шиповника, а также развертывания листьев у липы. В первые десятилетия XXI века произошел значительный отрицательный сдвиг (почти на 10 дней) начала самой теплой части летнего периода со среднесуточными температурами воздуха выше 20 °С, что нашло отражение в смещении сроков зацветания липы на 7 дней. Нельзя не отметить, что даты весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С, являющиеся границами активного развития большинства дикорастущих видов, характеризуются на ЮБК наибольшей вариабельностью, что нашло фенологический отклик в самой высокой изменчивости дат развертывания листьев у сирени и шиповника (табл. 1). Полученные результаты позволяют констатировать, что максимальные значения фенологического отклика соответствуют максимальным изменениям термического режима, т.е. растения очень чутко реагируют на существующие температурные изменения.

Оптимизированные наборы параметров моделей, обеспечивающие прогноз дат развертывания первых листьев и начала цветения для сирени, шиповника и липы представлены в таблицах 2–4. При прогнозировании даты развертывания первых листьев для всех исследуемых видов наибольшую разницу в значениях RMSE между периодом параметризации моделей и периодом валидации показали модели M1 и M2 (до 4,4 и 2,9 дней соответственно). Величины RMSE были довольно высокими и достигали при валидации фенологических моделей сирени и шиповника 9–11 дней. Оценка качества моделей для прогнозирования сроков развертывания листьев показала наличие систематически большего, по сравнению с моделями M1 и M3, смещения (до 6,3 дней у сирени, табл. 2) при расчетах по модели M2. Значение R-квадрата (коэффициент детерминации) является индикатором степени подгонки модели к исходным данным. Аппроксимация моделью M3 дат развертывания первых листьев у исследуемых видов растений преимущественно дает более точные прогнозы, чем моделями M2 и M1 (табл. 2, 4).

Несмотря на самое большое количество параметров ($k=6$), наиболее точное ($RMSE=5,2$) и эффективное ($AICc=123,8$) прогнозирование даты развертывания листьев у липы (табл. 4), согласно большинству индексов оценки качества, показала модель М3, учитывающая воздействие фотопериода на фенологическое развитие.

При прогнозировании зацветания растений различие между значениями $RMSE$ не превышало 1,5 дня. Величины $RMSE$ фенологических моделей прогноза даты цветения значительно ниже, чем прогноза даты развертывания листьев. Межгодовую изменчивость сроков начала цветения сирени лучше описывают модели М2 и М3, охватывающие периоды и органического и вынужденного покоя и объясняющие от 79 до 86 % дисперсии переменной (табл. 2). При $k=5$ и $k=6$, они показали наиболее точное ($RMSE=2,9-3,5$ дней) и эффективное ($AICc=97,2$ и $115,7$) прогнозирование даты цветения сирени. Эти же модели показали и наименьшую величину смещения между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями. Для прогноза цветения шиповника лучшими по всем критериям оценки оказались модели М1 и М3 (табл. 3). Относительно низкие значения результатов моделирования оказались при прогнозировании сроков цветения липы. Максимальный коэффициент детерминации ($R^2=0,47$) был получен при расчетах по модели М3 (табл. 4).

Таблица 2

Параметры моделей прогнозов дат распускания первых листьев и начала цветения сирени обыкновенной на Южном берегу Крыма

Параметр		Фенологическая фаза развития					
		Развертывание первых листьев			Начало цветения		
		Фенологическая модель			Фенологическая модель		
		М1	М2	М3	М1	М2	М3
t_0 , дата			01.11	01.11		01.11	01.11
T_b , °C		0,0	6,3	4,0	0,0	6,1	4,3
F^* , °C		490,4	27,8	279,0	764,1	113,5	341,6
T_{opt} , °C			5,8	2,4		5,4	3,4
C^* , °C			58,4	14,6		34,1	31,8
$t1$, дата		01.01	24.12	13.12	01.01	17.01	09.01
β			116,929	419,590		176,846	547,593
γ			-0,0251	-0,0280		-0,0130	-0,0149
c				1,6987			0,0452
Результаты внутренней проверки	R^2	0,52	0,58	0,60	0,56	0,86	0,79
	RMSE, дни	7,6	7,9	6,8	5,3	2,9	3,5
	AIC_c	136,8	144,2	138,1	140,7	97,2	115,7
	θ , дни	0,5	-3,1	-1,8	1,2	0,8	-0,5
Результаты валидации	R^2	0,40	0,41	0,42	0,64	0,83	0,81
	RMSE, дни	10,3	10,8	9,1	5,6	3,5	3,7
	θ , дни	-3,7	-6,3	-4,7	-0,7	0,6	-1,1

Таблица 3

Параметры моделей прогнозов дат распускания первых листьев и начала цветения шиповника собачьего на Южном берегу Крыма

Параметр		Фенологическая фаза развития					
		Развертывание первых листьев			Начало цветения		
		Фенологическая модель			Фенологическая модель		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3
t_0 , дата		01.01	01.11	01.11	29.01	01.11	01.11
T_b , °C		0,0	5,3	4,6	0,0	8,3	4,0
F^* , °C		429,2	45,0	103,9	971,4	68,6	575,1
T_{opt} , °C			5,0	4,5		7,6	4,0
C^* , °C			29,3	28,6		32,8	26,9
$t1$, дата			16.12	15.12		27.01	09.01
β			127,394	343,852		121,714	854,289
γ			-0,0355	-0,0412		-0,0159	-0,0148
c				0,2014			0,0035
Результаты внутренней проверки	R^2	0,78	0,81	0,80	0,73	0,59	0,74
	RMSE, дни	6,3	6,5	7,0	4,9	5,6	5,0
	AIC_c	124,2	132,3	139,7	121,0	136,2	130,9
	θ , дни	-0,1	2,3	1,3	-0,1	1,8	0,5
Результаты валидации	R^2	0,41	0,61	0,60	0,68	0,54	0,71
	RMSE, дни	10,7	9,4	9,3	4,6	6,6	4,3
	θ , дни	-2,1	1,7	1,0	-1,2	2,3	-0,2

Тестирование фенологических моделей показало, что как для фазы развертывания листьев, так и для фазы цветения результаты внутренней и внешней проверки указывают на согласованность закономерностей между моделями, т.е. модели, объясняющие наибольшую дисперсию наборов данных при внутренней проверке, обычно являются одними из наиболее точных для моделирования дат фенофаз во внешних условиях (и наоборот, табл. 2–4). В целом, точность прогноза используемых моделей для фенофазы начала цветения была выше, чем для фазы развертывания первых листьев (за исключением липы). Значения показателя значимости фотопериода у сирени указывают на высокую фотопериодическую чувствительность фазы развертывания листьев и почти нейтральную – цветения (табл. 2). Величины показателя значимости фотопериода (табл. 3–4) у шиповника и липы позволяют предположить, что у этих видов фотопериодически более чувствительна фенологическая фаза развертывания листьев, чем цветения. Таким образом, для прогнозирования на Южном берегу Крыма сроков весенней вегетации сирени, шиповника и липы лучшей моделью является модель М3, охватывающая оба периода покоя растения, и органического и вынужденного, учитывающая при этом воздействие фотопериода. Данная модель предполагает, что внешнее

воздействие температур на развитие почки не будет иметь результата до тех пор, пока не будет обеспечена предельная аккумуляция единиц охлаждения для завершения органического покоя.

По итогам проведенного тестирования для прогнозирования возможных изменений сроков весеннего развития растений в будущих климатических условиях была выбрана фенологическая модель М3. Входными данными модели являлись среднесуточные величины температур воздуха за период с 2021 по 2099 гг., полученные в результате расчетов по климатическому ансамблю из 5 моделей проекта СМIP5 для Южного берега Крыма. По климатическим сценариям RCP4.5 и RCP4.5 были построены проекции согласованных изменений климата и весенней фенологии *S. vulgaris*, *R. canina* и *T. cordata* на 2021–2099 гг. Для осредненных по 20-летиям периодов с 1937 по 2099 гг. были рассчитаны аномалии дат развертывания первых листьев и начала цветения по отношению к периоду 1981–2000 гг., принятого базовым (рис. 1).

Таблица 4

Параметры моделей прогнозов дат распускания первых листьев и начала цветения липы сердцевидной на Южном берегу Крыма

Параметр		Фенологическая фаза развития					
		Развертывание первых листьев			Начало цветения		
		Фенологическая модель			Фенологическая модель		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3
t_0 , дата		03.01	01.11	01.11	01.1	01.11	01.11
T_b , °C		0,0	6,3	4,1	0,0	9,7	4,0
F^* , °C		665,8	72,7	27,2	1617,1	217,0	993,1
T_{opt} , °C			6,3	3,5		9,6	2,7
C^* , °C			43,0	34,6		32,9	38,2
t_1 , дата			31.01	01.02		31.12	17.02
β			156,400	499,092		375,968	1606,905
γ			-0,0180	-0,0177		-0,0168	-0,0126
c				0,3809			0,1551
Результаты внутренней проверки	R^2	0,41	0,62	0,65	0,24	0,32	0,47
	RMSE, дни	6,2	7,0	5,2	8,6	8,4	7,2
	AIC_c	126,9	140,6	123,8	178,4	182,1	172,9
	θ , дни	0,5	3,4	1,5	-0,5	2,4	1,4
Результаты валидации	R^2	0,27	0,40	0,36	0,18	0,28	0,35
	RMSE, дни	7,9	7,6	7,1	9,4	9,0	8,4
	θ , дни	-1,5	2,5	0,9	-0,1	3,2	2,4

Результаты расчетов показали, что для различных климатических сценариев проявилась различная фенологическая реакция растений на прогнозируемый рост

температур в течение XXI столетия. При реализации сценария RCP4.5 (рис. 1 А, В) в ближайшие 20 лет по сравнению с последним временным периодом 2001–2017 годов при сохранении относительной стабильности сроков цветения (рис. 1 В) ожидается смещение на более поздние сроки (на 9–11 дней) дат разворачивания первых листьев у сирени и шиповника (рис. 1 А). Изменений дат наступления весенних фенофаз у липы не ожидается. С 30-х годов до конца столетия у рассматриваемых видов предполагается синхронное последовательное смещение на более ранние сроки, как разворачивания листьев, так и начала цветения. К концу столетия временные сроки облиствения сохранятся на уровне первых десятилетий XXI столетия, а цветение будет наступать на неделю раньше (приблизительно на 7–8 дней).

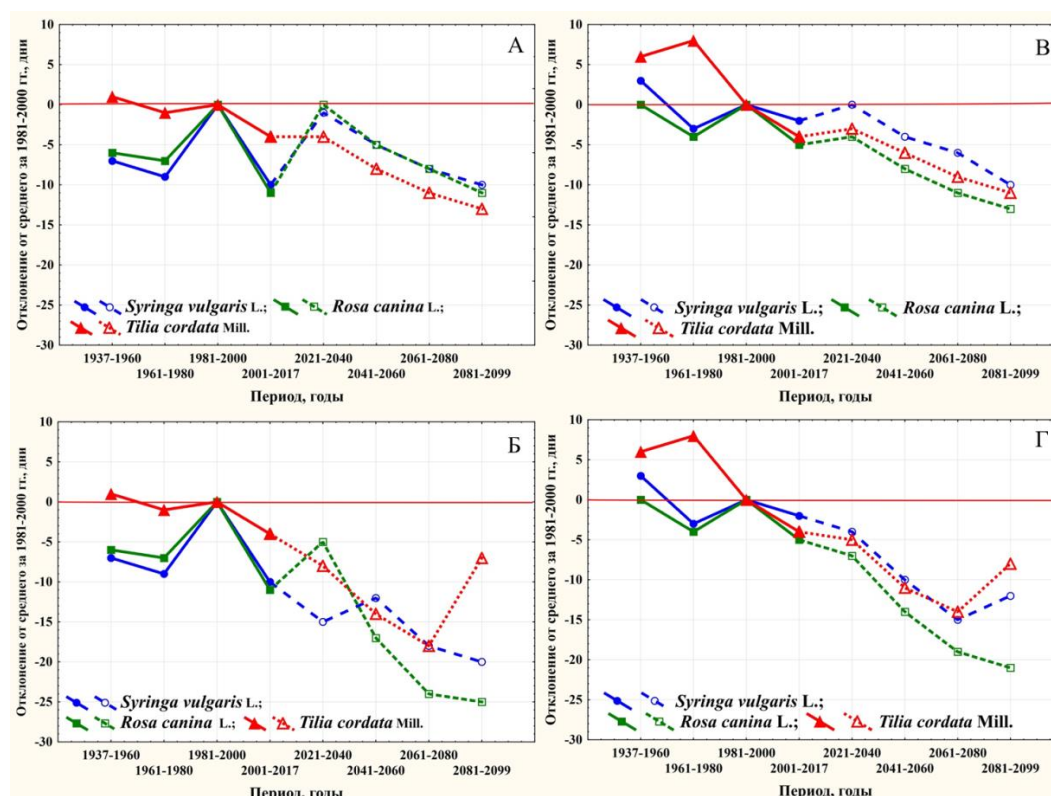


Рис. 1. Наблюдаемые (сплошные линии) и прогнозируемые (пунктирные линии) аномалии дат разворачивания первых листьев (А–Б) и начала цветения (В–Г) растений-феноиндикаторов на Южном берегу Крыма при климатических сценариях RCP4.5 (А, В) и RCP8.5 (Б, Г) по отношению к базовому периоду за 1981–2000 годы (базовый период: дата разворачивания первых листьев (начало цветения): *S. vulgaris* – 16.04 (06.05); *R. canina* – 09.04 (26.05); *T. cordata* – 29.04 (19.06)).

При реализации жесткого сценария RCP8.5 у исследуемых видов по результатам моделирования проявились различные реакции на интенсивное повышение температур, особенно в сроках развертывания первых листьев. Для сирени было сохранение тенденции, установившейся с конца XX столетия. По сценарию RCP8.5 предполагаются более поздние сроки облиствения шиповника в первой половине, а липы – конце столетия. Продолжится начавшееся в конце XX столетия смещение на более ранние сроки начала цветения. После 60-х годов скорость смещения увеличится. Из-за интенсивного роста температур, в последней четверти столетия необходимые для окончания периода органического покоя сирени и липы суммы единиц охлаждения не смогут накопиться за зимний период. Можно предположить, что недостаточные условия охлаждения будут компенсированы удлиненным фотопериодом. В связи с этим, в конце XXI века существует вероятность сдвига начальных фаз вегетации у некоторых древесно-кустарниковых видов растений на более поздние даты. Например, в 2081–2099 годах его величина может достигать 10 дней при облиствении липы и 3–6 дней при зацветании сирени и липы (рис. 1 Б, Г). В то же время для шиповника сдвиги весенней фенологии не предполагаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положительная температурная чувствительность, полученная для *Syringa vulgaris* L., *Rosa canina* L. и *Tilia cordata* Mill. позволяет наиболее обоснованно использовать эти виды в условиях изменения климата для региональной оценки состояния экосистемы не только Южного берега Крыма, но и всего Крымского полуострова. Для прогнозирования сроков их весенней вегетации лучшей моделью оказалась модель МЗ, охватывающая периоды органического и вынужденного покоя растений и учитывающая воздействие фотопериода.

Реакция феноиндикаторов на ожидаемые изменения термического режима позволяет сделать заключение, что при реализации наиболее вероятного сценария RCP4.5 в ближайшие 10–20 лет в начале весны значительного повышения температур на Южном берегу Крыма не ожидается. В связи с этим опасность повреждения вегетирующих растений поздними весенними заморозками сохранится. Не предполагается в ближайшее время и смещения на более ранние сроки наступления фенологического лета. В период с 30-х до 60-х годов XXI века, в связи с ростом температур, границы фенологических сезонов будут постепенно смещаться на более ранние сроки со средней скоростью около 2–4 дней за 10 лет. В конце XXI века ожидается увеличение темпов их смещения до 5–6 дней за 10 лет. При реализации самого неблагоприятного сценария RCP8.5 к концу столетия скорость смещения может достигнуть 8–11 дней за 10 лет.

Для успешного прогнозирования сроков весеннего развития в условиях изменения климата необходима дальнейшая разработка фенологических моделей. Анализ коэффициентов корреляции между устойчивыми переходами температур через различные пороговые значения указывает на статистически значимую связь фенологического события с переходом температур через определенную градацию, причем в зависимости от фазы развития и вида растения эти показатели различны. Таким образом, при использовании фенологических моделей для прогнозирования

сроков весеннего развития с целью оценки возможного из смещения в условиях изменения климата, представляется более целесообразным в качестве привязки для начала расчетов использовать не фиксированные даты, а даты устойчивого перехода температур, которые будут изменяться синхронно с изменением климата. Обязательным условием при этом является соблюдение единства методики при определении дат устойчивого перехода.

Данная работа дополняет результаты фенологического мониторинга для деревьев и кустарников по Европейской и Азиатской части территории России, а также по Северному полушарию.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает признательность начальнику агрометеорологической станции Никитский сад ФГБУ «Крымское УГМС» П. Б. Корсакову за помощь при обработке фенологических данных и данных моделирования СМIP5.

Список литературы

1. Wolkovich E. M. Warming experiments under predict plant phenological responses to climate change / E. M. Wolkovich, B. I. Cook, J. M. Allen et al. // Nature. – 2012. – Vol. 485. – P. 494–497.
2. Ненашева Г. И. Феноиндикаторы геосистемы Северо-Восточного Алтая / Г. И. Ненашева, Н. С. Малыгина, Е. Ю. Митрофанова [и др.] // Известия АлтГУ. – 2014. – Т. 2, № 3(83). – С. 129–133.
3. Cleland E. E. Shifting plant phenology in response to global change / E. E. Cleland, I. Chuine, A. Menzel [et al.] // Trends in Ecology and Evolution. – 2007. – Vol. 22, No. 7. – P. 357–365.
4. Parmesan C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming / C. Parmesan // Global Change Biology. – 2007. – Vol. 13. – P. 1860–1872.
5. Минин А. А. Фенология русской равнины: материалы и обобщения / А. А. Минин. – М.: Изд-во АБФ/АБФ, 2000. – 160 с.
6. Минин А. А. Феноиндикация изменений климата за период 1976-2015 гг. в центральной части Европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. Pendula* Roth.)) / А. А. Минин, Э. Я. Ранькова, Е. Г. Рыбина [и др.] – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2016. – Т. 27, № 2. – С. 17–28.
7. Menzel A. European phenological response to climate change matches the warming pattern / A. Menzel, T. H. Sparks, N. Estrella [et al.] // Global Change Biol. – 2006. – Vol. 12. – P. 1969–1976.
8. Sherry R. A. Divergence of reproductive phenology under climate warming / R. A. Sherry, X. Zhou, S. Gu [et al.] // Proc. Nat. Acad. Sci. – 2007. – Vol. 104. – P. 198–202.
9. Жмылёва А. П. Фенологическая реакция лесных растений на потепление климата: рано- и поздноцветущие виды / А. П. Жмылёва, Е. А. Карпухина, П. Ю. Жмылёв // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 2. – С. 5–15.
10. Primack R. B. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures / R. B. Primack, I. Ibáñez, H. Higuchi [et al.] // Biological Conservation. – 2009. – 142. – P. 2569–2577.
11. Карпухина Е. А. Зимний покой и весеннее распускание почек лесных растений / Е. А. Карпухина, П. Ю. Жмылёв, А. П. Жмылёва // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2007. – № 1. – С. 5–11.
12. Franks S. J. Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations / S. J. Franks, J. J. Weber, S. N. Aitken // Evol. Appl. – 2014. – Vol. 7. – 123–139.
13. Аэроландшафтно-индикационные методы при региональных инженерно-геологических исследованиях / Под ред. С. В. Викторова, А. В. Садова. – М.: Недра, 1981. – 203 с.
14. Буторина Т. Н. Биоклиматическое районирование Красноярского края / Т. Н. Буторина. – Новосибирск, «Наука», 1979 – 231 с.

15. Синельникова Н. В. Сезонная жизнь природы Верхней Колымы / Н. В. Синельникова, М. Н. Пахомов. – Москва, Товарищество научных изданий КМК, 2015. – 329 с.
16. Гордеев А. В. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков [и др.]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – 512 с.
17. Ruml M. Importance of phenological observations and predictions in agriculture / M. Ruml, T. Vulić // *Journal of Agricultural Sciences*. – 2005. – Vol. 50, No 2. – P. 217–225.
18. Chuine I. Plant development models. In: *Phenology: an integrative environmental science* / I. Chuine, K. Kramer, H. Hänninen. – 2003. – 1st edn. Ed. M.D. Schwartz (Kluwer Press: Milwaukee, WI). – P. 217–235.
19. Hänninen H. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions / H. Hänninen // *Acta Forestalia Fennica*. – 1990. – Vol. 213. – P. 1–47.
20. Blümel K. Shortcomings of classical phenological forcing models and a way to overcome them / K. Blümel, F. M. Chmielewski // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2012. – Vol. 164. – P. 10–19.
21. Плугатарь Ю. В. Экологический мониторинг Южного берега Крыма / Ю. В. Плугатарь, С. П. Корсакова, О. А. Ильницкий. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 164 с.
22. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч. 1. Основные агрометеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеоиздат, – 1985. – 316 с.
23. Winston W. L. *Practical Management Science*, 6E, geared entirely to Excel 2016 / W. L. Winston, S. CH. Albright. – Cengage Learning, 2018. – 50 p.
24. IPCC 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. – 2013, Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 1535 p.
25. Ramirez J. High resolution statistically downscaled future climate surfaces. International Center for Tropical Agriculture (CIAT); CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) / J. Ramirez, A. Jarvis. 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ccafs-climate.org/data/> (дата обращения: 7.02.2018, 4.07.2018).
26. Анисимов О. А. Об оптимальном выборе гидродинамических моделей для оценки влияния изменений климата на криосферу / О. А. Анисимов, В. А. Кокорев // *Лед и Снег*. – 2013. – Т. 121. – № 1. – С. 83–92.
27. Корсакова С. П. Динамика временных границ климатических сезонов на Южном берегу Крыма в условиях изменения климата / С. П. Корсакова, П. Б. Корсаков // *Бюллетень ГНБС*. – 2018. – № 127. – С. 107–115.

**RESPONSE OF PHENOINDICATORS TEMPERATE CLIMATE TO THE
CLIMATE CHANGE IN DRY SUBTROPICAL: MODELING AND
FORECASTING**

Korsakova S. P.

The Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS, Yalta, Russia
E-mail: korsakova2002@mail.ru

Analysis and predicting species' responses to climate change are currently major challenge in ecology. As objects for systematic observations to assess and predict the state of the geosystem using indicator plant species – phenological indicators. Phenological models are the basic tools linking the occurrence of phenological events, such as leaf unfolding, flowering, or maturing of fruits with climatic factors. In this investigation three phenological models were examined with respect to their suitability to predict timing terms of leaf unfolding, beginning of flowering and to estimate possible future phenological shifts in the spring due to climate change. Used long-term in situ phenology

observations collected in dry subtropics of the Southern coast of the Crimea for three plant species *Syringa vulgaris* L., *Rosa canina* L. and *Tilia cordata* Mill. which are phenoindicators plants. One of the approaches was pure forcing (F) model (M1) and another the remaining two models (M2 and M3) were combined sequential chilling-forcing (CF) models. Of them the M3 model was modified CF model and included photoperiod. The starting date for the chilling-forcing models was set to 1 November. Phenological observations from 1937 to 2017 and temperature data in the period 1936–2017 were used to fit these models. The starting date of temperature accumulation, base temperature and the forcing requirements were optimized on the basis of observed data. Testing of phenological models showed highly relevant to simulate leaf unfolding and beginning of flowering dates for species by M3 model integrating a photoperiod cue. This model together with meteorological projections based on two climate change scenarios CMIP5 project (RCP4.5 and RCP8.5) were used to estimate *S. vulgaris*, *R. canina* and *T. cordata* leaf unfolding and beginning of flowering dates along the 21st Century. In species-specific projections of phenological responses to climate warming it can be concluded that if the implementation of the most realistic RCP4.5 scenario during of the next 10–20 years in early spring, a significant increase in temperature on the Southern coast of the Crimea is no expected. In this regard, the frost risk damage to plants by frosts in late spring will continue. It is not expected in the near future shifting to an earlier date of phenological summer occurrence. During period from the 30s to 60s of the XXI century due to the temperatures increase the boundaries of phenological seasons will gradually shift to earlier time with an average speed of about 2–4 days in 10 years. At the end of the XXI century it is expected to increase the rate of shifting these boundaries to 5–6 days in 10 years. When implementing the most adverse scenario RCP8.5 by the end of the century the rate of shifting plants phenology in response to climate warming can increase to 8–11 days in 10 years. Modeling studies predict that warming RCP8.5 scenario might severely affect bud dormancy release and as a result on the terms of spring onset growth. Future studies are needed to understand of the complex physiology that controls chilling and forcing of plants phenology more accurately.

Keywords: phenological models; Climate change; leaf unfolding; flowering; Southern coast of the Crimea.

References

1. Wolkovich E. M., Cook B. I., Allen J. M. [et al.] Warming experiments under predict plant phenological responses to climate change, *Nature*, **485**, 494 (2012).
2. Nenasheva G. I., Malygina N. S., Mitrofanova E. Y., Lovtskaya O. V., Ryabchinskaya N. A., Sokolov A. V., Chukhontseva S. V., Sakhnevuch M. B. and Koroleva E. F. Phenoindicators of the North-Eastern Altai Geosystem, *Izvestiya of Altai State University*, **2**(3(83)), 129 (2014).
3. Cleland E. E., Chuine I., Menzel A., Mooney H. A. and Schwartz M. D. Shifting plant phenology in response to global change, *Trends in Ecology and Evolution*, **22**(7), 357 (2007).
4. Parmesan C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming, *Global Change Biology*, **13**, 1860 (2007).
5. Minin A. A. *Phenology of the Russian plain: materials and generalizations*, 160 p. (M: ABF, 2000).
6. Minin A. A., Rankova E. Ya., Rybina E. G., Buyvolov Yu. A., Sapel'nikova I. I. and Filatova T. D. Phenindione of climate change for the period 1976–2015 in the central part of european Russia: common birch (silver birch) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Rroth.)), bird cherry (*Padus avium* Mill.),

- mountain ash (rowan) (*Sorbus aucuparia* L.), small-leaves lime (linden) (*Tilia cordata* Mill.), *Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, **27**(2), 17 (2017).
7. Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A. [et al.] European phenological response to climate change matches the warming pattern, *Global Change Biol*, **12**, 1969 (2006).
 8. Sherry R. A., Zhou X., Gu S., Arnone J. A., Schimel D. S., Verburg P. S., Wallace L. L. and Luo Y. Divergence of reproductive phenology under climate warming, *Proc. Nat. Acad. Sci*, **104**, 198 (2007).
 9. Zhmyleva A. P., Karpukhina E. A., Zhmylev P. Ju. Influence of climate warming on flowering time of early and lately flowering forest plants, *Vestnik RUDN, series Ecology and life safety*, **2**, 5, (2011).
 10. Primack R. B., Ibáñez I., Higuchi H., Lee S. D., Miller-Rushing A. J., Wilson A. M. and Silander J. A. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures. *Biological Conservation*, **142**, 2569 (2009).
 11. Karpukhina E. A., Zhmylev P. Ju and Zhmyleva A. P. Forest plants winter dormancy and spring budburst, *Vestnik RUDN, series Ecology and life safety*, **1**, 5 (2007).
 12. Franks S. J., Weber J. J. and Aitken S. N. Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations, *Evolution Apple*, **7**, 123 (2014).
 13. *Eurolandscape-indication methods in regional engineering-geological studies*, Viktorov S. V. and Sadovoy A. V. (Ed.), 203 p. (Moscow, 1981).
 14. Butorina T. N. *Bioclimatic zoning of Krasnoyarsk region*, 231 p. (Novosibirsk, Nauka, 1979)
 15. Pakhomov M. N. *Seasonal life of nature in the Upper Kolyma region*, 329 p. (Moscow: KMK Scientific Press, 2015).
 16. Gordeev A. V., Kleschenko A. D., Chernyakov B. A. and Sirotenko O. D. Bioclimatic potential of Russia: theory and practice, 512 p. (Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, Moscow, 2006).
 17. Ruml M. and Vulić T., Importance of phenological observations and predictions in agriculture, *Journal of Agricultural Sciences*, **50**(2), 217 (2005).
 18. Chuine I., Kramer K. and Hänninen H. Plant development models. In: Phenology: an integrative environmental science, 1st edn. Ed. M.D. Schwartz (Kluwer Press: Milwaukee, WI), **217** (2003).
 19. Hänninen H. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions, *Acta Forestalia Fennica*, **213**, 1 (1990).
 20. Blümel K. and Chmielewski F. M. Shortcomings of classical phenological forcing models and a way to overcome them, *Agricultural and Forest Meteorology*, **164**, 10 (2012).
 21. Plugatar Yu. V., Korsakova S. P. and Ilitsky O. A. *Ecological monitoring of the Southern Coast of the Crimea*, 164 p. (Simferopol: PP "ARIAL", 2015).
 22. *Instruction to hydrometeorological stations and posts. Issue. 11. Agrometeorological observations at stations and posts. Part 1. Basic agrometeorological observations*, 316 p. (L.: Gidrometeoizdat, 1985).
 23. Winston W. L. and Albright S. CH. *Practical Management Science, 6E, geared entirely to Excel 2016*, 50 p. (Cengage Learning, 2018).
 24. IPCC 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley, 1535 p. (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013).
 25. Ramirez J. and Jarvis A. *High resolution statistically downscaled future climate surfaces. International Center for Tropical Agriculture (CIAT); CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS, 2018 [Electronic resource]. Access point: <http://ccafs-climate.org/data/> (reference's date – 7.02.2018, 4.07.2018).*
 26. Anisimov O. A. and Kokorev V. A. On the optimal choice of hydrodynamic models for assessing the impact of climate change on the cryosphere, *Ice and Snow*, **121**(1), 83 (2013).
 27. Korsakova S. P. and Korsakov P. B. Dynamics in the temporal boundaries of climatic seasons in the Southern Coast of the Crimea under climate change, *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*, **127**, 107 (2018).

УДК 547.282:616.98:615.317

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРОРАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ САПОНИНА ТАУРОЗИДА Sx1 НА ВЫРОБОТКУ АНТИТЕЛ ПРИ ИММУНИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫМИ ПРОТИВОГРИППОЗНЫМИ ВАКЦИНАМИ

Малыгина В. Ю.¹, Андроновская И. Б.¹, Криворутченко Ю. Л.¹, Гришковец В. И.²

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

*²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vera.maligina@mail.ru*

Исследовали влияние перорального введения тритерпенового сапонина таурозида Sx1, полученного из плюща крымского *Hedera taurica* Сарт., на формирование гуморального иммунитета у мышей линии BALB/c при иммунизации противогриппозными вакцинами различного состава. С помощью реакции торможения гемагглютинации (РТГА) было изучено накопление анти-гемагглютининовых антител разной специфичности на 14 день после вакцинации и на 5 день после ревакцинации.

Было обнаружено, что 3х-дневное введение таурозида Sx1 в дозе 200 мкг/день после иммунизации вакциной Гриппол, содержащей адъювант Полиоксидоний, достоверно повышало выработку антител к антигенам вирусов гриппа типов А и В при первичном иммунном ответе, и к гемагглютинином H1 и H3 вирусов гриппа типа А – при вторичном иммунном ответе. Подобного стимулирующего эффекта не было обнаружено при иммунизации безадъювантной вакциной Инфлювак.

Ключевые слова: сапонин; адъювант; вакцина; грипп.

ВВЕДЕНИЕ

Угроза эпидемии гриппа продолжает оставаться одной из актуальных проблем человечества. По данным ВОЗ, во время эпидемий гриппа заболевает до 5–10 % взрослого и до 20–30 % детского населения, ежегодная летальность составляет 250000–500000 человек, а экономический ущерб доходит до 6 миллионов долларов на 100000 населения [1]. Пожилые старше 65 лет, дети до 5 лет жизни, а также лица с различными хроническими соматическими заболеваниями входят в группу риска по развитию осложнений после перенесенного гриппа. Отдельную группу риска составляют медицинские работники, работники транспорта и сферы обслуживания. При выработке стратегии борьбы с гриппозной инфекцией ведущее место отводится вакцинации. Её рассматривают как наиболее эффективный способ профилактики и снижения смертности населения, защищающий от заболевания до 80 % взрослых и детей [2]. Это связано с появлением амантадин-устойчивых вирусов А(Н3N2) и А(Н1N1), а также распространением вирусов гриппа А(Н1N1), резистентных к ингибитору вирусной нейраминидазы озелтамивиру, что снижает эффективность противовирусной терапии [3]. Существует более десятка разновидностей

российских и зарубежных вакцин, как живых, так и инактивированных. Последние приобрели большую популярность в связи с меньшей реактогенностью и высокой эффективностью, которая увеличивается при включении в них адьюванта. Наиболее часто в качестве адьюванта использовали гидроокись алюминия. В результате исследований последних лет разработаны и другие, более активные адьюванты, например MF59 и AS03, состоящие из сквалена, сурфактанта полисорбата 80 и сорбитана триолеата или витамина Е (соответственно), использующиеся в приготовлении противогриппозных вакцин [4]. Большой интерес отводится комплексным иммуноадьювантам ISCOMS и ISCOMATRIX, состоящим из сапонины, полученного из *Quillaja saponaria*, с добавлением холестерина и фосфолипида. Сапонины – это большая группа гликозидов чаще растительного происхождения. Они подавляют жизнедеятельность грибов, бактерий, вирусов и простейших, стимулируют гуморальный и клеточный иммунитет, но обладают гемолитической активностью, что ограничивает возможности использования сапонинов для лечения и профилактики заболеваний людей [5–8].

Среди инактивированных вакцин, применяемых в России, наименее реактогенными считаются Инфлювак и Гриппол. Вакцина Инфлювак производства Abbott Biologicals B. V., Нидерланды, состоит из поверхностных антигенов гемагглютинина (ГА) и нейраминидазы (НА) актуальных вирусов гриппа типа А и В, выращенных на куриных эмбрионах. В состав этой вакцины адьювант не входит. Трехвалентная инактивированная полимер-субъединичная вакцина Гриппол производства «Микроген», Москва, также содержит поверхностные антигены ГА и НА актуальных вирусов гриппа. Она соответствует международным требованиям по эффективности для гриппозных вакцин, не содержит консерванта и применяется для массовой иммунизации детей против гриппа с 6 месяцев. Эта вакцина продемонстрировала высокую эпидемическую и экономическую эффективность [9]. Вакцина Гриппол содержит синтетический полиэлектролит Полиоксидоний, введение которого в состав вакцины позволило снизить в 3 раза содержание вирусных антигенов по сравнению с зарубежными аналогами [10, 11].

Вакцина Гриппол обладает низкой реактогенностью, высокой безопасностью и может вводиться сочетанно с вакцинами Национального календаря профилактических прививок вне зависимости от соматической патологии ребенка. Местные и общие реакции слабой и средней степени возникают в единичных случаях, сочетанное введение вакцин не влияет на их частоту и выраженность [12].

Цель данной работы – изучить влияние перорального введения таурозида Sx1 на напряженность гуморального иммунитета при иммунизации противогриппозными вакцинами Инфлювак и Гриппол.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали таурозид Sx1 – тритерпеновый гликозид с формулой 3-O-a-L рамнопиранозил (1-2)-a-L-арабинопиранозид хедерагенина, выделенный из крымского плюща *Hedera taurica* Carr. (Araliaceae) как описано ранее [13]. В состав вакцины Гриппол 2005/2006, использованной в работе, входили штаммы: AIVR-116(H1N1) – подобный A/New Caledonia/20/99; NYMC X-157 (A/New

York/55/2004) – подобный A/California/7/2004(H3N2); B/Jiangsu/10/2003 – подобный B/Shanghai/361/2002. Доза (0,5 мл) вакцины содержала по 5 мкг гемагглютинина, вирусов гриппа типов А(H1N1), А(H3N2) и 11 мкг вируса типа В, а также Полиоксидоний 500 мкг. Вакцина Инфлювак сезона 2011–2012 состояла из поверхностных антигенов ГА и нейраминидазы (НА). В её состав входили штаммы A/California/7/2009(H1N1) – подобный NYMC X-181; A/Perth/16/2009(H3N2) – подобный A/Victoria/210/2009 NYMC X-187; B/Brisben/60/2008. Доза (0,5 мл) вакцины содержала по 15 мкг ГА вирусов гриппа типов А(H1N1), А(H3N2) и вируса типа В.

Уровни антигемагглютининовых антител у иммунизированных гриппозными вакцинами мышей определяли с помощью микроварианта реакции торможения гемагглютинации (РТГА) в 96-луночных пластиковых планшетах для осадочных реакций. Для постановки РТГА с формализированными эритроцитами кур использовали стандартные гриппозные диагностикумы: В/Хабаровск/14/05; А/Новая Каледония/20/99(H1N1); А/Нью-Йорк/55/04(H3N2), а также А/Калифорния/07/2009 (H1N1) А/Висконсин/67/2008(H3N2).

Подбор дозы вакцины Гриппол

Эксперимент был проведен на 16 мышах линии BALb/c. Животные были разделены на четыре экспериментальные группы по 4 в каждой. Вакцину вводили внутримышечно в объеме 0,1 мл в бедро в различных разведениях в изотоническом растворе NaCl (ИР). На 7-й, 14-й и 21-й дни после введения вакцины у мышей определяли уровни антигемагглютининовых антител с помощью РТГА.

Схема вакцинации

Группы мышей по 10 животных весом 25–30 г иммунизировали путем внутримышечного введения разведенной 1:10 вакцины по 0,1 мл в бедро. Контрольной группе животных по той же схеме вводили ИР. Через 14 дней у животных из хвостовой вены брали кровь для определения титров антигемагглютининовых, используя микровариант РТГА с формализированными эритроцитами кур и стандартными гриппозными диагностикумами. Через 4 месяца после вакцинации проводили ревакцинацию. Через 5 дней у животных брали кровь из хвостовой вены для выявления титров антигемагглютининовых. Исследование соответствовало принципам Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях.

Введение таурозида Sx1

Использовали терапевтическую схему введения сапонина. Животных поили дважды в день в течение 3 дней после вакцинации раствором сапонина с концентрацией 0,5 и 5 мг/мл (доза 20 и 200 мкг/мышь/день соответственно). В контрольной группе животным перорально вводили ИР.

Статистическая обработка

Статистическая обработка полученных данных проведена с применением методов вариационной статистики с вычислением средних величин (M), оценкой вероятности расхождений (m), оценкой достоверности изменений с использованием t-критерия Стьюдента. За достоверную принималась разность средних значений при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выраженность выработки антител против гемагглютинаина стандартных штаммов вирусов гриппа при иммунизации различными разведениями гриппозной вакцины Гриппол приведена в таблицах 1 и 2. Как видно из таблицы 1, введение вакцины в разведении 1:10 формировало более выраженный и продолжительный иммунный ответ против антигенов, содержащихся в стандартном диагностикуме А/Москва/10/99(Н3N2), чем введение вакцины Гриппол, разведенной 1:100 и 1:1000. При введении неразведенной вакцины и вакцины в разведении 1:10 динамика образования и уровни антител не имели существенных различий, начиная с 14 дня наблюдения.

Таблица 1

Титры антигемагглютининовых антител против стандартного антигена вируса А/Москва/10/99(Н3N2) в сыворотках мышей, иммунизированных вакциной Гриппол при различных дозах введения вакцины

Разведение вакцины	Обратные титры антител (среднее значение)		
	7 день	14 день	21 день
Цельная	640,0±0	140,0±40,0	266,7±323,3
1 : 10	320,0±0	140,0±40,0	280,0±80,0
1 : 100	440,0±240,0	160,0±0	50,0±20,0
1 : 1000	480,0±226,2	80,0±0	40,0±0

Сыворотка мышей контрольной группы имела фоновый титр антител в пределах 1:20 – 1:40.

Из таблицы 2 видно, что близкие титры антигемагглютининовых против антигенов, содержащихся в стандартном диагностикуме А/Новая Каледония/20/99(Н1N1), обнаруживались в сыворотках мышей после вакцинации различными разведениями вакцины.

Таблица 2

Титры антигемагглютининовых антител против стандартного антигена вируса А/Новая Каледония/20/99(Н1N1) в сыворотках мышей, иммунизированных вакциной Гриппол при различных дозах введения вакцины

Разведение вакцины	Обратные титры антител (среднее значение)		
	7 день	14 день	21 день
1 : 10	100,0±69,3	70,0±20,0	140,0±40,0
1 : 100	160,0±0	426,7±184,7	115,0±138,9
1 : 1000	120,0±56,6	80,0±0	40,0±0

Сыворотка мышей контрольной группы имела фоновый титр антител в среднем 1:20 – 1:40.

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРОРАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ САПОНИНА ...

Поскольку к концу наблюдений наиболее высокие титры антигемагглютининов к антигенам Н3 и Н1 сохранялись при иммунизации вакциной Гриппол в разведении 1:10 для проведения дальнейших экспериментов было выбрано именно это разведение вакцины.

Результаты исследования с пероральным 3-х дневным терапевтическим введением сапонида таурозид Sx1 после внутримышечной иммунизации вакциной Гриппол приведены в таблице 3. Как видно из таблицы при введении таурозид Sx1 на 14 день после вакцинации в сыворотках мышей, получавших сапонин, статистически достоверно по сравнению с контролем возрастал титр антител против Н1 антигена, содержащегося в стандартном диагностикуме А/Новая Каледония/20/99(Н1Н1). На 5 день после ревакцинации у животных, получавших сапонин, титры антител, специфичных к Н1 и Н3 гемагглютинином диагностикумов А/Новая Каледония/20/99 (Н1Н1) и А/Нью-Йорк/55/04 (Н3Н2) соответственно, также были статистически выше, чем у животных контрольной группы.

Таблица 3

Титры антигемагглютининов после иммунизации вакциной Гриппол одновременно с пероральным введением таурозид Sx1 в дозе 200 мкг/день

Дни после введения вакцины	Группы животных	Обратные титры антител, специфичных к антигенам диагностикумов:		
		В/Хабаровск/14/05	А/Новая Каледония/20/99 (Н1Н1)	А/Нью-Йорк/55/04 (Н3Н2)
Вакцинация, 14 день	контроль	626,7±220,9	120,0±25,3	160,0±0,0
	таурозид Sx1	600,0±233,4	1280,0±286,2**	426,6±173,6
Ревакцинация, 5 день	контроль	8,0±8,0	480,0±92,4	720,0±201,3
	таурозид Sx1	16,0±16,0	1536,0±256,0*	2048,0±313,5**

*– достоверная разница между контролем и опытом $P \leq 0,01$

**– достоверная разница между контролем и опытом $P \leq 0,05$

Результаты исследования с пероральным 3-х дневным терапевтическим введением сапонида таурозид Sx1 после внутримышечной иммунизации вакциной Инфлювак приведены в таблице 4. Как видно из таблицы, пероральное введение таурозид Sx1 ни в одной из изученных концентрациях не влияло на накопление антител к Н1 и Н3 гемагглютинином, содержащимся в диагностикумах А/Калифорния/7/2009 (Н1Н1) и А/Висконсин/67/2008(Н3Н2) соответственно. Это было показано как после вакцинации на 14 день, так и после ревакцинации на 5 день эксперимента.

Таблица 4

Титры антигемагглютининов при первичном иммунном ответе после иммунизации вакциной Инфлювак

Дни после введения вакцины	Группы животных, доза таурозид Sx1	Обратные титры антител, специфичных к антигенам диагностикумов:	
		A/Калифорния/07/2009 (H1N1)	A/Висконсин/67/2008(H3N2)
Вакцинация, 14 день	контроль	31,2±19,4	14,4±7,3
	таурозид Sx1, 20 мкг/день	15,2±2,5	6,6±2,3
	таурозид Sx1, 200 мкг/день	30,4±14,0	10,0±4,4
Ревакцинация, 5 день	контроль	6,0±2,1	8,5±3,3
	таурозид Sx1, 20 мкг/день	4,0±3,0	4,0±0,0
	таурозид Sx1, 200 мкг/день	8,7±5,8	7,3±1,6

В последнее время, учитывая разнообразие вакцин, присутствующих на международном рынке средств профилактики гриппа, стал возрастать интерес к вопросу о сравнительной активности адьювантных и безадьювантных вакцин различного состава и антигенной нагрузки, а также об их влиянии на врожденный и приобретенный иммунитет. Было показано, что вакцина Гриппол мощнее индуцирует формирование эффекторов как врожденного так и приобретенного иммунитета по сравнению с безадьювантными вакцинами, несмотря на меньшее количество антигена в вакцинирующей дозе у адьювантной вакцины [14]. Наши исследования также показали, что при одинаковой схеме введения титры антигемагглютининов в сыворотках мышей, иммунизированных вакциной Гриппол, на порядок или два порядка выше, чем после введения вакцины Инфлювак.

Некоторые растительные продукты при их пероральном и парентеральном введении усиливают иммунный ответ на антигены вакцин, вводимых другим путем. Так Бетулин (компонент экстракта бересты березы) при пероральном введении в сочетании с иммунизацией против лептоспироза и фузобактериоза животных усиливал выработку антител, специфичных к вакцинным антигенам [15].

Известно, что сапонины, обладающие адьювантными свойствами и рассматриваемые как потенциальные компоненты вакцин, например Quil A, обладают гемолитической активностью, вызывают местную воспалительную реакцию и проявляют системную токсичность. Это ограничивает возможности их использования для человека, но не препятствует применению в составе вакцин для животных [16, 17]. Сообщалось, что внутрибрюшинное введение антирабической вакцины при пероральном введении мышам 10 мг *Quillaja*-сапонины до 90–100 % увеличивало выживаемость мышей, зараженных вирусом бешенства, по сравнению с животными, которых не иммунизировали, или иммунизировали вакциной без

сапонины. Этот эффект авторы исследования связывали с усилением выработки противовирусных антител при совместном введении вакцины и сапонины [18].

В нашем исследовании было показано, что протективный эффект таурозида Sx1 был подобен действию сапонины из *Quillaja saponaria*, поскольку усиливал выработку противовирусных антител при его введении отдельно от антигенов адьювантной вакцины Гриппол. Подобный эффект отсутствовал при введении мышам безадьювантной вакцины Инфлювак. Это указывает на то, что иммунопотенцирующее действие сапонины таурозида Sx1 зависит от наличия в составе вакцины адьюванта Полиоксидония. Таким образом, установлена зависимость иммуностимулирующего действия сапонины, вводимого перорально, от наличия в составе вакцины адьюванта определенного типа (полиэлектролита Полиоксидония).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом было установлено, что пероральное 3х-дневное введение сапонины таурозида Sx1 в дозе 200 мкг/день после внутримышечной иммунизации вакциной Гриппол, содержащей адьювант Полиоксидоний, повышало выработку антител к гемагглютинином H1 и H3, входящим в состав вакцины, при первичном и вторичном иммунном ответе. Пероральное 3х-дневное введение сапонины таурозида Sx1 в дозах 20 и 200 мкг/день после иммунизации безадьювантной вакциной Инфлювак не повышало выработку антител к вирусным гемагглютинином.

Вероятно, проявление иммунопотенцирующего эффекта при пероральном введении сапонины таурозида Sx1 на фоне внутримышечной иммунизации гриппозной вакциной зависит от наличия адьюванта в составе вакцины, например Полиоксидония в вакцине Гриппол.

Список литературы

1. Пинегин Б. В. Влияние тривалентной конъюгированной полимер-субъединичной вакцины Гриппол на иммунный статус привитых добровольцев / Б. В. Пинегин, А. С. Иванова, С. В. Климова [и др.] // Иммунология. – 2003. – № 3. – С. 8–15.
2. CDC. Prevention and control of influenza with vaccines: recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP), 2010 // MMWR. – 2010. – №59 (RR–8).
3. Hayden F. G. Emerging influenza antiviral resistance threats / F. G. Hayden, de Jong M. D // The Journal of Infectious Diseases. – 2011. – Vol. 203, №1. – P. 6–10.
4. Jalilian B. Properties and prospects of adjuvants in influenza vaccination – messy precipitates or blessed opportunities? / B. Jalilian, S. H. Christiansen, H. B. Einarsson, M. R. Pirozyan // Molecular and Cellular Therapies. – 2013. – №1. – P. 2.
5. Sparg S. G. Biological activities and distribution of plant saponins / S. G. Sparg, M. T. Light, van Staden J. // Journal of Ethnopharmacology. – 2004. – № 94. – P. 219–243.
6. Sindambiwe J. B. Evaluation of biological activities of triterpenoid saponins from *Maesa lanceolata* / J. B. Sindambiwe, M. Calomme, S. Geerts [et al.] // Journal of Natural Products. – 1998. – №61. – P. 585–590.
7. Baedr G. Cytotoxicity of triterpenoid saponins / Relationships between the structures of glycosides of polygalacic acid and their activities against pathogenic *Candida* species / G. Baedr, M. Seibold, K. Tintelnot [et al.] // Pharmazie. – 2000. – №55. – P. 72–74.
8. Mshvildadze V. Antifungal and antiprotozoal activities of saponins from *Hedera colchica* / V. Mshvildadze, A. Favel, F. Delmas [et al.] // Pharmazie. – 2000. – №55. – P. 325–326.

9. Салтыкова Т. С. Эпидемиологическая и экономическая эффективность иммунизации взрослого работоспособного населения коммерческой гриппозной вакциной «Гриппол® плюс» / Т. С. Салтыкова, В. В. Романенко, О. В. Минаева // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. – 2015. – № 5. – С. 65–71.
10. Сенцова Т. Б. Острые респираторные вирусные инфекции и их профилактика у детей с atopическими болезнями / Т. Б. Сенцова, И. И. Балаболкин, Л. А. Булгакова [и др.] // Вопр. современной педиатрии. – 2003. – Т. 2, №3. – С. 8–15.
11. Хаитов Р. М. Вакцины нового поколения и проблемы биобезопасности / Р. М. Хаитов // Цитокины и воспаление. – 2005. – № 3. – С. 70–75.
12. Харит С. М. Результаты исследования уровней специфических антител на сочетанное введение вакцин против гриппа, кори, краснухи и паротита и АДС-М у детей с хроническими соматическими заболеваниями / С. М. Харит, А. А. Рулева, О. В. Голева [и др.] // Детские инфекции. – 2014. – Т. 13, №3. – С. 29–35.
13. Гришковец В. И. Тритерпеновые гликозиды из *Hedera Taurica*. X. Структура соединений F4, I и J из листьев крымского плюща / В. И. Гришковец, Н. В. Толкачёва, А. С. Шашкова, В. Я. Чирва // Химия природ. соед. – 1992. – № 6. – С. 683–686.
14. Хромова Е. А. Сравнительная активность вакцин против гриппа: влияние на субпопуляционную структуру лимфоцитов / Е. А. Хромова, И. А. Семочкин, Э. А. Ахматова [и др.] // Журн. Микробиол. – 2016. – №6. – С. 61–65.
15. Красиков А. П. Стимуляция иммунного ответа с помощью Бетулина при его сочетанном применении с вакцинами против лептоспироза и фузобактериоза животных / А. П. Красиков, И. Г. Алексеева, А. В. Ушаков // Ветеринарная патология. – 2014. – №2 (48). – С. 45–50.
16. Sun H. X. Advances in saponin-based adjuvants / H. X. Sun, Y. Xie., Y. P. Ye // Vaccine. – 2009. – №27 (March (12)). – P.1787–1796.
17. Kensil C. R. Separation and characterization of saponin with adjuvant activity from *Quillaja saponaria* Molina cortex. / C. R. Kensil, U. Patel, M. Lennick // *J. Immunol.* – 1991. – №146 (January (2)). – P.431–437.
18. Chavali S. R. Immunopotentiality by orally-administered *Quillaja* saponins: effects in mice vaccinated intraperitoneally against rabies / S. R. Chavali, L. D. Barton, J. B. Campbell // *J. Clin. Exp. Immunol.* – 1988. – № 74. – P. 339–343.

A COMPARISON OF THE EFFECTS OF SAPONIN TAUROSIDE Sx1 ORAL ADMINISTRATION ON ANTIBODY PRODUCTION DURING IMMUNIZATION WITH DIFFERENT ANTI-INFLUENZA VACCINES

Maligina V. Yu., Andronovskaja I. B., Krivorutchenko Yu. L., Grishkovets V. I.

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

The effect of oral administration of triterpene saponin Tauroside Sx1, derived from Crimean ivy tree *Hedera taurica* Carr., on the humoral immune response development in BALB/c mice immunized with different anti-influenza vaccines has been investigated. Rising of anti-hemagglutinin antibody titers has been studied with the help of hemagglutination inhibition assay (HIA) on the day 14 after vaccination and the day 5 after re-vaccination.

It has been found that Tauroside Sx1 oral administration in a dose of 200 mkg/mouse/day within 3 days after immunization with Grippol vaccine, containing

Polyoxidonium adjuvant, has significantly increased antibody production against both type A and type B influenza virus antigens in primary immune response, and against type A influenza viruses hemagglutinins H1 and H3 in secondary immune response. No stimulating effect has been seen with adjuvant-free Influvac vaccine.

Keywords: saponin, adjuvant, vaccine, influenza.

References

1. Pinegin B. V., Ivanova A. S., Klimova S. V. i dr. Vlijanie trivalentnoj kon'jugirovannoj polimer-su'bednichnoj vakciny Grippol na immunnyj status privityh dobrovol'cev, *Immunologija*, **3**, 8 (2003). (in Russ.).
2. CDC. Prevention and control of influenza with vaccines: recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP), 2010. *MMWR*, **59** (2010).
3. Hayden F. G., de Jong M. D. Emerging influenza antiviral resistance threats, *The Journal of Infectious Diseases*, **203**(1), 6 (2011).
4. Jalilian B., Christiansen S. H., Einarsson H. B., Pirozyan M. R., Petersen E., Vorup-Jensen T. Properties and prospects of adjuvants in influenza vaccination – messy precipitates or blessed opportunities?, *Molecular and Cellular Therapies*, **1**, 2 (2013).
5. Sparg S. G., Light M. T., van Staden J. Biological activities and distribution of plant saponins, *Journal of Ethnopharmacology*, **94**, 219 (2004).
6. Sindambiwe J. B., Salomme M., Geerts S. et al. Evaluation of biological activities of triterpenoid saponins from *Maesa lanceolata*, *Journal of Natural Products*, **61**, 585 (1998).
7. Bader G., Seibold M., Tintelnot K. et al. Cytotoxicity of triterpenoid saponins. Relationships between the structures of glycosides of polygalacic acid and their activities against pathogenic *Candida* species, *Pharmazie*, **55**, 72 (2000).
8. Mshvildadze V., Favel A., Delmas F. et al. Antifungal and antiprotozoal activities of saponins from *Hedera colchica*, *Pharmazie*, **55**, 325 (2000).
9. Saltykova T. S., Romanenko V. V., Minaeva O. V. Epidemiological and economic efficiencies of immunization with the commercial influenza vaccine Grippol® plus in the able-bodied adult population. *Epidemiology and Infectious diseases. Current Items*, **5**, 65 (2015) (in Russ.).
10. Sencova T. B., Balabolkin I. I., Bulgakova L. A. i dr. Ostrye respiratornye virusnye infekcii i ih profilaktika u detej s atopicheskimi boleznjami, *Vopr. sovremennoj pediatrii*, **2**(3), 8 (2003). (in Russ.).
11. Haitov R. M. Vakciny novogo pokolenija i problemy biobezopasnosti, *Citokiny i vospalenie*, **3**, 70 (2005). (in Russ.).
12. Harit S. M., Ruleva A. A., Goleva O. V., Kalinogorskaja O. S., Aprjatina V. A. Rezul'taty issledovanija urovnej specificheskikh antitel na sochetannoe vvedenie vakcin protiv grippa, kori, krasnuhi i parotita i ADS-M u detej s hronicheskimi somaticheskimi zabojevanijami. *Detskie infekcii*, **13**(3), 29 (2014). (in Russ.).
13. Grishkovec V. I., Tolkachjova N. V., Shashkova A. S., Chirva V. Ja. Triterpenovye glikozidy iz *Hedera Taurica*. H. Struktura soedinenij F4, I i J iz list'ev krymskogo pljushha, *Himija prirod. Soed.*, **6**, 683 (1992). (in Russ.).
14. Hromova E. A., Semochkin I. A., Ahmatova Je. A., Stolpnikova V. N., Shodova S. A., Sorokina E. V., Ahmatova N. K., Kostinov M. P. Sravnitel'naja aktivnost' vakcin protiv grippa: vlijanie na subpopuljacionnuju strukturu limfocitov, *Zhurn. Mikrobiol.*, **6**, 61 (2016). (in Russ.).
15. Krasikov A. P., Alekseeva I. G., Ushakov A. V. Stimuljacija immunnogo otveta s pomoshh'ju Betulina pri ego sochetannom primenenii s vakcinami protiv leptospiroza i fuzobakterioza zhivotnyh, *Veterinarnaja patologija*, **2**(48), 45 (2014). (in Russ.).
16. Sun H. X., Xie Y., Ye Y. P., Advances in saponin-based adjuvats, *Vaccine*, **27**, 1787 (2009).
17. Kensil C. R., Patel U., Lennick M. Separation and characterization of saponin with adjuvant activity from *Quillaja saponaria* Molina cortex, *J. Immunol.*, **146**, 431 (1991).
18. Chavali S. R., Barton L. D., Campbell J. B. Immunopotential by orally-administered *Quillaja* saponins: effects in mice vaccinated intraperitoneally against rabies, *J. Clin. Exp. Immunol.*, **74**, 339 (1988).

УДК 612.822

ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОВНЕЙ ОБЩЕГО И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА С АМПЛИТУДОЙ АЛЬФА- И БЕТА-РИТМОВ ЭЭГ ПОКОЯ

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

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vprav55@gmail.com*

У 72 студентов в возрасте от 18 до 30 лет оценивали уровень общего интеллекта, выраженность показателей эмоциональной эмпатии и трудности идентификации чувств, а также определяли амплитуду альфа- и бета-ритмов ЭЭГ в ситуации относительного покоя. Выявлены значимые позитивные корреляции между уровнем общего интеллекта и амплитудой альфа-ритма в лобных и центральных отведениях. С показателем эмоциональной эмпатии значимо и позитивно коррелировала амплитуда бета-ритма (главным образом правого полушария). Показатель трудности идентификации чувств с амплитудой бета-ритма был связан значимо и негативно. Наиболее тесные связи при этом отмечены в локусах левого полушария. Полученные данные обсуждаются в свете концепции зеркальной системы мозга и функциональной асимметрии полушарий.

Ключевые слова: ЭЭГ, альфа- и бета-ритмы, общий интеллект, эмоциональный интеллект.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих когнитивные функции человека, является актуальной задачей современной физиологии ЦНС. Особый интерес представляет выявление взаимосвязей между паттерном ЭЭГ и уровнем развития интеллекта. Принято считать, что интеллект это совокупность разнообразных качеств личности, обеспечивающих способность рационально мыслить, целенаправленно действовать и на этой основе справляться с жизненными трудностями. При этом выделяют некий общий фактор g («генеральный фактор»), отражающий уровень ментальной энергии индивида и скорость мышления, а также отдельные факторы, обеспечивающий успешность человека в отдельных видах деятельности [1]. В качестве одного из таких факторов в последние годы рассматривают эмоциональный интеллект. Эмоциональный интеллект включает в себя способность человека к восприятию и пониманию эмоций других людей, рефлексии собственных эмоциональных состояний и управление ими, формирование эмоциональных знаний, умений и навыков. Люди с высокоразвитым эмоциональным интеллектом эффективно адаптируются к внутренним и внешним эмоциогенным событиям, успешны в социальной сфере, часто становятся эффективными лидерами социальной группы [2].

Особый интерес изучение нейрофизиологических механизмов общего и эмоционального интеллекта представляет в связи с концепцией зеркальной системы

мозга. Данная система отвечает за восприятие эмоций и действий окружающих людей, имплицитное понимание их целей (см. обзор [3]). Благодаря этой системе мы также способны эффективно взаимодействовать с другими индивидами в процессе обучения и, следовательно, успешно развивать свои интеллектуальные способности. Активность системы зеркальных нейронов сенсомоторной области коры проявляется в реактивности альфа-ритма, а моторной зоны коры – в реактивности бета-ритма ЭЭГ роландической области при восприятии действий окружающих. Указанные ритмы принято называть центральными, или сенсомоторными, их изучение позволяет объективно и неинвазивно оценивать активность зеркальной системы мозга человека [4–7]. Ранее в нашей лаборатории выявлены взаимосвязи между реактивностью сенсомоторных ритмов ЭЭГ студентов, зарегистрированных в ситуации наблюдения за движениями человека-модели и их воспроизведения, с одной стороны, и некоторыми характеристиками эмоционального интеллекта, с другой [8, 9]. Известно, что и в параметрах фоновой ЭЭГ (прежде всего в мощности и частоте альфа-ритма), зарегистрированной в состоянии относительного покоя, также отражается уровень общего интеллекта [10]. Однако взаимосвязь амплитуды альфа- и бета-ритмов покоя с уровнем общего и эмоционального интеллекта у одних и тех же испытуемых изучена недостаточно. В связи с этим, целью настоящего исследования было выявление возможных взаимосвязей между уровнями общего и эмоционального интеллекта молодых людей и амплитудой альфа- и бета-ритмов покоя центральных и иных отведений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 72 здоровых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет (23 мужчины и 49 женщин), являющихся студентами разных факультетов Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. ЭЭГ регистрировали при помощи 24-канального электроэнцефалографа «Нейрон спектр – 3» (фирма «Нейрософт», Иваново) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. ЭЭГ-потенциалы отводились монополярно от передних фронтальных (Fp1, Fp2), фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), затылочных (O1, O2), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4, T5, T6), затылочных (O1, O2) локусов в соответствии с международной системой наложения электродов 10-20. В качестве референтного электрода служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частота оцифровки ЭЭГ-сигналов составляла 250 Гц. Обработка сигналов производилась с помощью быстрых преобразований Фурье с последующим сглаживанием по методу Баттерворта.

Настоящее исследование является частью более широкой, комплексной исследовательской программы, направленной на изучение электрофизиологических и гуморальных коррелятов различных аспектов социальной перцепции и поведения [см. 8, 9]. В данной работе анализируется блок экспериментальных данных, описывающих показатели фоновой активности сенсомоторных ритмов, зарегистрированных во фронтальных, центральных и теменных отведениях, а также альфа- и бета-ритмы других отведений в состоянии относительного покоя. Запись проводили при открытых и закрытых глазах (в каждой ситуации общая

продолжительность записи составила по две минуты). В ситуации с открытыми газами испытуемому давалась инструкция смотреть на экран компьютера с изображением неподвижной компьютерной мыши. В качестве частотного диапазона альфа-ритма был выбран интервал 8–13 Гц, бета-ритма – 14–30 Гц. Определяли среднюю амплитуду ритмов в указанных диапазонах, выраженную в микровольтах.

Уровень общего интеллекта испытуемых оценивали с помощью тестовой методики «Стандартные прогрессивные матрицы Равена» [11]. Данная методика предполагает выявление закономерностей в отношениях между абстрактными графическими элементами и является традиционным и одним из наиболее валидных инструментов для измерения фактора общего интеллекта g [1]. Для оценки отдельных аспектов развития эмоционального интеллекта у испытуемых использовалась модифицированная методика диагностики эмпатии А. Меграбяна и Н. Эпштейна [12] и опросник «Торонтская шкала алекситимии» (TAS-20) [13]. Опросник Меграбяна-Эпштейна – классическая методика, которая позволяет оценить общий уровень эмоциональной эмпатии, понимаемый как совокупность таких параметров, как восприятие и понимание чувств окружающих, а также выраженность способности к эмоциональному отклику на переживания. Из опросника TAS-20 для дальнейшего анализа брались оценки испытуемых по шкале «Трудность идентификации чувств». Высокие значения данного показателя указывает на сниженную способность к осознанию как собственных эмоциональных переживаний, так и эмоций других людей, что характерно для людей с выраженной алекситимией и нарушениями эмоционального интеллекта.

Статистические связи между значениями выделенных переменных анализировали с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена.

Настоящее исследование проводилось в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации 1964 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения показателей интеллекта обследованных испытуемых приведены в таблице 1. Как видно из указанной таблицы, крайние значения указанных показателей варьируют в значительных пределах. Можно предположить, что одной из причин таких вариаций являются особенности функционирования ЦНС, лежащие в основе разной быстроты мышления и разной эмоциональной чувствительности.

Таблица 1.

Показатели интеллекта у 72 испытуемых-студентов

Показатели интеллекта (баллы)	Среднее	Стандартное отклонение	Крайние значения
общий интеллект	47,57	7,35	19,00 – 60,00
эмоциональная эмпатия	22,50	6,32	7,00 – 33,00
трудность идентификации чувств	17,49	6,09	7,00 – 31,00

Указанные особенности в развитии ЦНС, как мы полагаем, могут отражаться в специфическом паттерне сенсомоторных ритмов ЭЭГ. Для проверки этого предположения нами вычислены коэффициенты корреляций по Спирмену между значениями альфа- и бета-ритмов, с одной стороны, и показателями общего и эмоционального интеллекта, с другой. Величины коэффициентов корреляций между уровнем показателя общего интеллекта и амплитудами указанных ритмов в состоянии относительного покоя представлены на рис. 1.

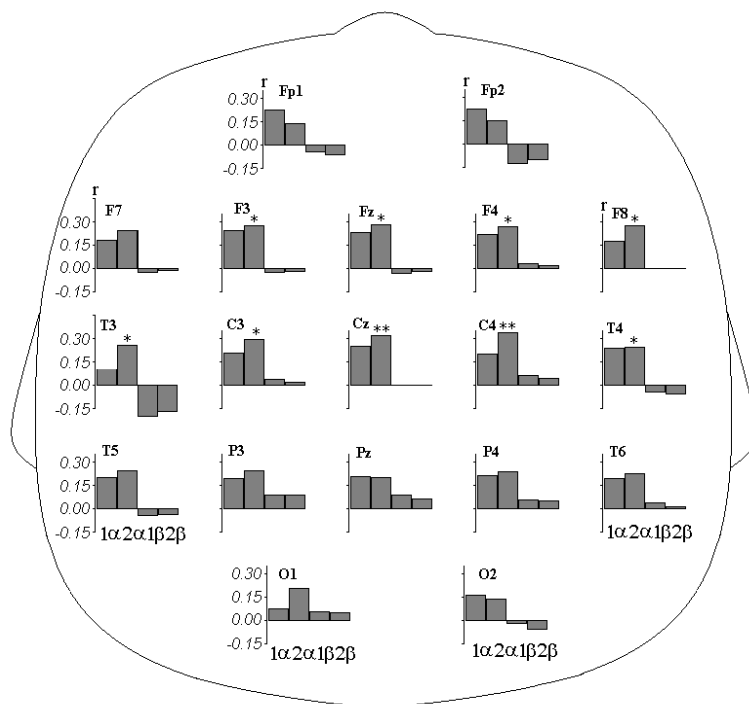


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляций амплитуды ЭЭГ 72 испытуемых с показателями общего интеллекта.

Расположение диаграмм соответствует локусам регистрации ЭЭГ. По оси абсцисс: 1α и 1β – альфа- и бета-ритмы при закрытых глазах; 1α и 1β – те же ритмы при открытых глазах. По оси ординат: величины коэффициентов корреляций (r). *– корреляции значимы при $P < 0,05$, **– при $P < 0,01$.

Как видно из рисунка 1, показатель общего интеллекта позитивно коррелирует с амплитудой альфа-ритма, зарегистрированного во фронтальных и центральных отведениях у испытуемых в ситуации при открытых глазах. Мы предлагаем следующую интерпретацию данной взаимосвязи. Как уже отмечалось, альфа-ритм центральных отведений генерируется в сенсомоторных областях коры. Альфа-ритм фронтальных отведений отражает функционирование лобных областей неокортекса, играющих ключевую роль в поддержании и переносе произвольного внимания.

Данные ритмы в ситуации относительного покоя хорошо выражены у индивидов с высокоразвитой системой избирательного торможения, лежащего в основе произвольного внимания. Хорошо развитое произвольное внимание обеспечивает успешное решение задач, требующих сосредоточенности и подавления посторонних помех, что и проявляется в высоких значениях интеллекта у данных индивидов.

Величины коэффициентов корреляций между уровнем показателей эмоциональной эмпатии и амплитудами ритмов ЭЭГ в состоянии относительного покоя представлены на рис. 2.

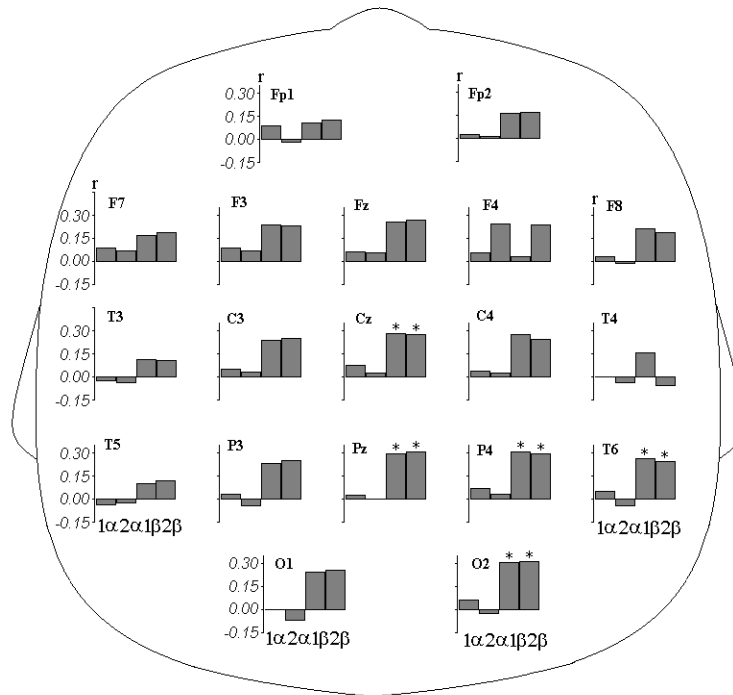


Рис. 2. Значения коэффициентов корреляций амплитуды ЭЭГ 72 испытуемых с показателем эмоциональной эмпатии. Обозначения как на рис. 1.

Как видно из рисунка 2, показатель эмоциональной эмпатии позитивно коррелирует с амплитудой бета-ритма, зарегистрированного в сагиттальных отведениях центрального и теменного регионов неокортекса, а также в теменных и затылочных отведениях правого полушария (которое традиционно связывают с функционированием эмоциональной сферы).

Величины коэффициентов корреляций между уровнем показателя трудности идентификации чувств и амплитудами ритмов ЭЭГ испытуемых представлены на рис. 3.

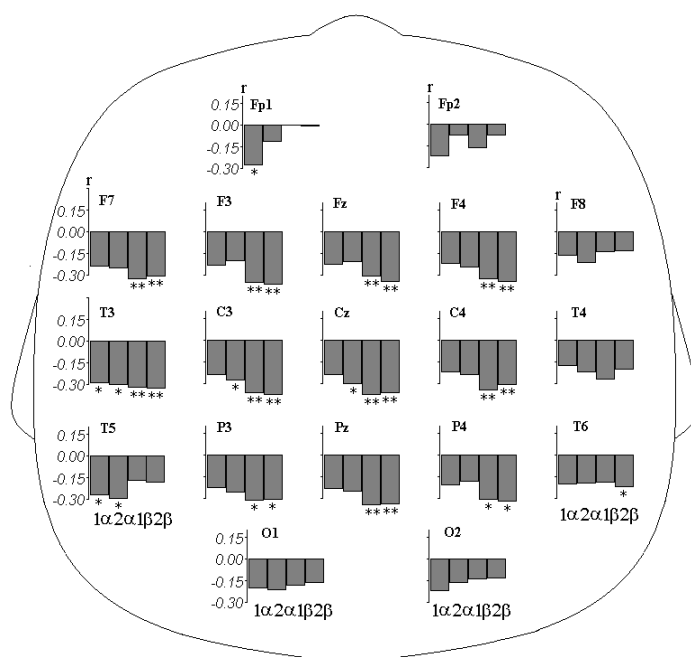


Рис. 3. Значения коэффициентов корреляций амплитуды ЭЭГ 72 испытуемых с показателем трудности идентификации чувств. Обозначения как на рис. 1.

Паттерн взаимосвязей, представленных на рисунке 3, свидетельствует о том, что чем ниже трудности идентификации чувств у данного индивида, т.е., чем выше его эмоциональный интеллект, тем больше амплитуда его альфа-ритмов левого полушария и бета-ритмов в большинстве отведений обоих полушарий (при этом теснота связей выше для локусов левого полушария).

Анализ взаимосвязей показателей эмоционального интеллекта с паттерном ЭЭГ позволяет предложить следующие интерпретации. Известно, что генерация бета-ритма отражает активацию тормозящих ГАМК-эргических клеток неокортекса [14], а также снижение активности основной массы нейронов моторной зоны коры [6]. Такие особенности функционирования неокортекса в условиях покоя, не требующих эмоционального отклика, могут, по нашему мнению, являться предпосылкой к высокой реактивности указанных областей коры мозга. Чем выше исходная активность ГАМК-эргических нейронов, тем больше их потенциальная возможность к регулированию активности неокортекса в эмоциогенных ситуациях. Хорошее развитие тормозных систем коры позволяет человеку без чрезмерных стрессовых реакций воспринимать и анализировать эмоциональные состояния окружающих и адекватно реагировать на них. Также индивиды с высокой выраженностью альфа- и бета-ритмов покоя левого полушария способны лучше отрелексировать и контролировать собственные эмоциональные состояния, в том числе, в сложных социальных ситуациях.

Кроме того, в центральных областях неокортекса, а также в окружающих их регионах предположительно локализуются зеркальные нейроны человека [3]. Чем выше реактивность сенсомоторных альфа- и бета-ритмов, тем активнее зеркальная система мозга, больше способность индивида воспринимать и имплицитно интерпретировать эмоциональные состояния окружающих в процессе социального взаимодействия. Одним из факторов, обеспечивающих такую реактивность компонентов указанных частотных ЭЭГ и может являться высокая исходная амплитуда альфа- и бета-ритмов у людей с развитым эмоциональным интеллектом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены значимые позитивные корреляции между уровнем общего интеллекта и амплитудой альфа-ритма в лобных и центральных отведениях. Данный ритм в ситуации относительного покоя хорошо выражен у индивидов с высокоразвитой системой избирательного торможения, лежащего в основе произвольного внимания. Такие особенности функционирования неокортекса обеспечивают успешное выполнение задач, требующих особой сосредоточенности.
2. С показателем эмоциональной эмпатии позитивно коррелировала амплитуда бета-ритма (главным образом правого полушария). Показатель трудности идентификации чувств с амплитудой бета-ритма был связан значимо и негативно. Наиболее тесные связи при этом отмечены в локусах левого полушария. Выявленные связи эмоционального интеллекта с амплитудой фонового бета-ритма могут указывать на хорошее развитие тормозных механизмов неокортекса, а также оптимальное состояние системы зеркальных нейронов мозга. Такие особенности развития ЦНС индивида позволяют ему эффективно воспринимать и анализировать эмоциональные состояния окружающих и адекватно реагировать на них. Также индивиды с высокой выраженностью альфа- и бета-ритмов покоя левого полушария способны лучше отразить и контролировать собственные эмоциональные состояния, в том числе, в сложных стрессогенных социальных ситуациях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-015-00074.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Анастаси А. Психологическое тестирование / А. Анастаси, С. Урбина. – СПб. : Питер, 2007. – 688 с.
2. Андреева И. Н. Эмоциональный интеллект как феномен современной психологии / И. Н. Андреева. – Новополюк : ПГУ, 2011. – 388 с.
3. Rizzolatti G. Mirrors in the brain: how our minds share actions and emotions / G. Rizzolatti, C. Sinigaglia. – Oxford University Press, 2008. – 242 p.
4. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing” / J. A. Pineda // Brain Research Reviews. – 2005. – Vol. 50, No 1. – P. 57–68.

5. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // Behavioral and Brain Functions. – 2008. – Vol. 4, No 47. – P. 1–16.
6. Babiloni C. Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans / C. Babiloni, C. D. Percio, F. Vecchio [et al.] // Clinical Neurophysiology. – 2016. – Vol. 127, No 1. – P. 641–654.
7. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия биология, химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.
8. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 28–35.
9. Аликина М. А. Особенности реактивности сенсомоторного ритма в связи с алекситимическими чертами личности / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия биология, химия. – 2017. – Т. 3 (69), № 1. – С. 3–17.
10. Bazanova O. M. Interpreting EEG alpha activity / O. M. Bazanova, D. Vernon // Neurosci. Biobehav. Rev. – 2014. – Vol. 44. – P. 94–110.
11. Равен Дж. К. Руководство к Прогрессивным Матрицам Равена и Словарным Шкалам / Дж. К. Равен, Дж. Х. Корт, Равен Дж. – М. : Когито-Центр, 2012. – 144 с.
12. Крылов А. А. Практикум по общей, экспериментальной и прикладной психологии / А. А. Крылов, С. А. Маничева. – СПб. : Питер, 2003. – 560 с.
13. Старостина Е. Г. Торонтская шкала алекситимии (20 пунктов): валидизация русскоязычной версии на выборке терапевтических больных / Е. Г. Старостина, Г. Д. Тэйлор [и др]. // Социальная и клиническая психиатрия. – 2010. – Т. 20, №4. – С. 31–38.
14. Kropotov Ju. D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy / Ju. D. Kropotov. – Academic Press, 2009. – 542 p.

RELATIONSHIPS BETWEEN GENERAL AND EMOTIONAL INTELLIGENCE LEVELS AND EEG ALPHA AND BETA RHYTHM AMPLITUDE AT REST

Pavlenko V. B., Alikina M. A., Makhin S. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: vpav55@gmail.com*

In 72 students aged 18 to 30 years were measured the level of general intelligence, emotional empathy score and difficulty identifying feeling index, as well as the amplitude of the EEG alpha and beta rhythms under condition of relative rest.

Significant positive correlations were found between the level of general intelligence and the amplitude of alpha rhythm in frontal and central loci. This oscillations are well pronounced at rest in people with a highly developed system of selective inhibition underlying voluntary attention. This functional feature of neocortex assures a successful execution of tasks that require high attentional focus.

The amplitude of beta rhythm (mostly over the right hemisphere) positively correlated with the score of emotional empathy. The difficulty identifying feeling index negatively correlated with the beta rhythm amplitude. The strongest relationships were observed for

the electrodes over the left hemisphere. The discovered correlations between emotional intelligence and the amplitude of beta rhythm at rest may be an indicator of highly developed inhibition mechanisms in neocortex, as well as an optimal functional state of the brain mirror neuron system in people who possess a high level of this cognitive sphere. Such characteristics of individual level of CNS development assure effective understanding and analysis of emotional states in others, and relevant responses to them. Individuals with a relatively high amplitude of alpha and beta rhythms at rest over the left hemisphere seem to be more successful in reflecting and controlling their own emotional states, including those occurring in difficult social situations.

Keywords: EEG, alpha and beta rhythms, general intelligence, emotional intelligence.

References

1. Anastasi A. and Urbina S., *Psychological testing* (Prentice Hall, 2007).
2. Andreeva I. N. *Emotsionalnyy intellekt kak fenomen sovremennoy psihologii* (Novopolotsk,: PGU, 2011).
3. Rizzolatti G. and Sinigaglia C. *Mirrors in the brain: how our minds share actions and emotions* (Oxford University Press, 2008).
4. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing”, *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
5. Pineda J. A., Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring?, *Behavioral and Brain Functions*, **4**, 1 (2008).
6. Babiloni C., Percio C. D., Vecchio F. and Sebastiano F., Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans, *Clinical Neurophysiology*, **127**, 641 (2016).
7. Alikina M. A., Makhin S. A., and Pavlenko V. B., EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **2 (68)**, 3 (2016).
8. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V., Pavlenko V. B. Study of the reactivity of the μ rhythm during observation, auditory perception, and movement imitation: Correlation with empathic ability, *Human Physiology*, **41**, 593 (2015).
9. Alikina M. A., Makhin S. A. and Pavlenko V. B. Reactivity indices of sensorimotor rhythm in connection with alexithymic personality traits, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **3 (69)**, 3 (2017).
10. Bazanova O. M. and Vernon D. Interpreting EEG alpha activity, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **44**, 94 (2014).
11. Raven Dzh. K., Raven Dzh. and Kurt Dzh. Kh., *Rukovodstvo k Progressivnym Matritsam Ravena i Slovarnym shkalam* (Moscow: Kogito-Tsentr, 1997).
12. Kryilov A. A. and Manicheva S. A., *Praktikum po obschey, eksperimentalnoy i prikladnoy psihologii* (Piter, SPb., 2003).
13. Starostina E. G., Tailor G. D. et al. Torontskaya shkala aleksitimii (20 punktov): validizatsiya russkoyazychnoy versii na vyborke terapevticheskikh bolnykh, *Social and Cnical Psychiatry*, **20**, 31 (2010).
14. Kropotov Ju. D. *Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy* (Academic Press, San Diego, 2009).

УДК 634.63:631.526.3:547.56:58.036.5

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ СОРТОВ *OLEA EUROPAEA* L. С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ МОРОЗОСТОЙКОСТИ

Палий А. Е., Палий И. Н., Старцева О. В.

*ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр», Ялта,
Республика Крым, Россия
E-mail: onlabor@yandex.ru*

Изучено изменение содержания суммы фенольных соединений, лютеолин-7-О-глюкозида и рутина в листьях двух сортов *Olea europaea* L. в холодный период на Южном берегу Крыма. Содержание суммы фенольных соединений в листьях маслины колебалось в пределах 684–1103 мг/100 г, лютеолин-7-О-глюкозида – 8,1–211,4 мг/100 г, рутина – 0,4–1,5 мг/100 г. Установлено, что устойчивость сортов маслины к воздействию отрицательных температур зависит от степени накопления лютеолин-7-О-глюкозида и рутина, и не зависит от изменения концентрации суммы фенольных соединений.

Ключевые слова: маслина европейская, листья, фенольные соединения, лютеолин-7-О-глюкозид, рутин, низкотемпературный стресс.

ВВЕДЕНИЕ

Маслина европейская (*Olea europaea* L.) – одно из древнейших культурных растений на Земле, относится к семейству маслиновых (Oleaceae Lindl.). Она засухоустойчива, не требовательна к почвам, редко поражается болезнями и вредителями. Однако температуры ниже –15 °С являются критическими для маслины [1]. Плоды и масло маслины – важные компоненты в ежедневном рационе значительной части населения планеты. Помимо пищевой ценности большое значение имеют препараты из листьев, коры и плодов, проявляющие широкий спектр фармакологического действия. Биологически активные вещества, входящие в состав препаратов, проявляют сильное антиоксидантное, противоопухолевое и антимикробное действие, снижают артериальное давление, уровень сахара в крови, помогают при аритмии [2, 3].

Основными биологически активными веществами листьев маслины являются фенольные соединения и тритерпены. Фенольные соединения представлены фенолпропаноидами (гидрокситирозол, тирозол, кофейная кислота и др.), секоиридоидами (олеуропеин и лигустрозид) и флавоноидами (гликозиды лютеолина, кверцетина и апигенина) [4–7].

Фенольные соединения, обладающие высокой биологической активностью, характеризуются широким разнообразием функций, выполняемых ими в растительном организме, в частности, участием в процессах регуляции роста и ферментативной защиты растения от окислительного стресса [8]. Испанскими

учеными показана роль олеуропеина и его предшественников гидрокситирозола и тирозола в формировании устойчивости некоторых сортов маслины к низкотемпературному стрессу [9, 10], однако информация об участии других фенольных веществ, в частности флавоноидов отсутствует.

Южный берег Крыма (ЮБК) является северной границей культурного ареала маслины, здесь она хорошо плодоносит, но в отдельные годы температурные колебания зимнего периода могут вызывать значительные повреждения, особенно у интродукционных сортов. Определение роли фенольных соединений в низкотемпературной устойчивости сортов маслины европейской актуально, так как у этого вида на ЮБК при определенных погодных условиях происходит активизация ростовых процессов в осенний период.

Целью настоящего исследования являлось выявление особенностей накопления фенольных соединений в листьях сортов маслины европейской с различной степенью морозостойкости в холодный период на Южном берегу Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили следующие сорта *Olea europaea* L.: морозостойкий – ‘Никитская’ (селекции Никитского ботанического сада) и слабоморозостойкий – ‘Раццо’ (интродуцент средиземноморского происхождения). Растения произрастали на коллекционных участках Никитского ботанического сада (пгт Никита, г. Ялта, Республика Крым). Для анализа ежемесячно отбирали однолетние листья со средней части побегов в холодный период с октября 2017 г. по март 2018 г.

Для определения фенольных соединений были приготовлены экстракты из свежесобранного растительного сырья. Экстракцию проводили этиловым спиртом (при соотношении сырья и экстрагента – 1 : 10) настаиванием в течение 10 суток при комнатной температуре. Степень измельчения сырья 1 мм.

Содержание суммы фенольных веществ определяли на спектрофотометре Evolution 220 UV/VIS фирмы Thermo Scientific по методу Фолина-Чиокальтео, в пересчете на галловую кислоту (Sigma-Aldrich) [11], содержание сухих веществ термогравиметрическим методом [12].

Компонентный состав фенольных соединений определяли на хроматографе Ultimate 3000 Dionex Thermo Scientific, укомплектованном 4-канальным градиентным насосом LPG-3400SD, со встроенным дегазатором, автоматическим инжектором WPS-3000SL, термостатом колонок TCC-3000SD, диодноматричным детектором DAD-3000. Для проведения анализа была использована аналитическая хроматографическая колонка Eclipse Plus C18, 4.6 на 250 мм, размер частиц 5 мкм. Применяли градиентный режим элюирования. Подвижная фаза В – ацетонитрил, С – 0,1 % раствор муравьиной кислоты в деионизированной воде: 0–5 мин 5 % В, 5–35 мин – подъем от 5 до 30 % В, 35–40 мин подъем от 30 до 90 % В, 40–41 мин подъем до 100 % В, 41–46 мин – 100% В, 46–51 мин снижение от 100 % В до 5 % В, 51–55 мин 5 % В. Скорость потока 0,7 мл / мин. Температура термостата колонок 400 С. Объем пробы 7 мкл. Идентификацию пиков производили на основании совпадения времени удерживания аналита и стандартного образца, а также совпадения УФ-

спектров. Расчет количественного содержания индивидуальных компонентов производили по калибровочным графикам зависимости площади пика от концентрации вещества, построенным по растворам индивидуальных веществ. В качестве стандартов использовали лютеолин-7-О-глюкозид и рутин (Sigma-Aldrich).

Для обеспечения однородности результатов концентрации суммы фенольных соединений и отдельных компонентов рассчитывали в пересчете на сырой вес. Повторность опытов 3-кратная. Результаты исследований обрабатывали стандартными методами математической статистики [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия холодного периода с октября 2017 г. по март 2018 г. по данным агрометеостанции «Никитский сад» характеризовались сменами волн тепла и холода, немного превышали среднемноголетнюю норму и за последние десятилетия являлись достаточно типичными для ЮБК. В октябре наблюдалась относительно теплая погода, средняя температура воздуха была выше нормы на 0,5 °С. Сумма осадков на 110 % превышала норму. Погода ноября была переменчивой, с волнами тепла и холода. К концу месяца на поверхности почвы наблюдались первые заморозки до -4 °С. Среднемесячная температура находилась в пределах нормы. Осадки выпадали регулярно в течение месяца. В декабре погода была теплой, на 3,0 °С превышала многолетнюю среднемесячную температуру. Во второй декаде декабря минимальная температура воздуха опускалась до 0,1 °С (на поверхности почвы до -3,9 °С). Осадков выпало на 7 % ниже нормы. Январь и февраль характеризовались относительно теплой с обильными осадками погодой. Среднемесячные температуры превышали норму на 1,5 °С в январе и на 1,6 °С в феврале. До минимальных значений (-3,0 °С) температура воздуха опускалась в конце каждого месяца. Погода марта была неустойчивой, умеренно-теплой и дождливой. Средняя температура воздуха была выше нормы на 1,6 °С, сумма осадков составляла 156 % от нормы. В первой декаде месяца минимальная температура воздуха опускалась до -3,4 °С, на поверхности почвы до -7 °С.

В результате проведенных исследований установлено, что в листьях изучаемых сортов маслины в холодный период 2017–2018 гг. содержание суммы фенольных соединений колебалось в пределах 684–1103 мг/100 г (табл. 1). До первого понижения температуры воздуха до отрицательных значений (конец ноября) более высокий уровень суммы фенольных соединений наблюдался у сорта Никитская. В декабре происходило снижение содержания у сорта Никитская на 13,6 %, у сорта Раццо – на 7,7 %. С января месяца и до конца холодного периода концентрация фенольных соединений все время возрастала, причем более равномерно у сорта Никитская. Таким образом, наступление первых заморозков сопровождается снижением содержания фенольных соединений в листьях маслины. Последующее постепенное понижение температуры окружающей среды приводит к увеличению концентрации фенольных веществ независимо от степени их устойчивости к отрицательным температурам. Подобную картину мы наблюдали в исследованиях предыдущих лет [14].

Таблица 1

Содержание суммы фенольных соединений и отдельных компонентов в листьях маслины европейской

Сорт	Месяц	Сухое вещество, %	Сумма фенольных соединений	Лютеолин-7-О-гликозид	Рутин
‘Никитская’	октябрь	48,0	932±23	12,5±1,2	0,40±0,04
	ноябрь	50,8	815±25	15,8±1,5	1,30±0,13
	декабрь	52,5	710±17	65,2±6,5	1,10±0,11
	январь	46,6	854±20	47,9±4,8	0,70±0,07
	февраль	47,6	955±23	8,1±0,8	0,40±0,04
	март	43,6	1012±30	18,7±1,8	0,50±0,05
‘Раццо’	октябрь	48,7	1008±26	55,8±5,5	0,30±0,03
	ноябрь	50,3	751±18	50,9±5,0	1,40±0,14
	декабрь	53,0	702±17	135,0±13,5	1,00±0,10
	январь	46,2	795±15	211,4±21,0	1,50±0,14
	февраль	49,0	798±21	87,9±8,7	1,10±0,11
	март	47,4	1103±28	39,5±3,9	0,80±0,08

При помощи метода высокоэффективной жидкостной хроматографии проведено исследование компонентного состава фенольных соединений этанольных экстрактов листьев двух сортов маслины. В экстрактах идентифицированы флавоноиды: лютеолин-7-О-гликозид и рутин (рис. 1). Лютеолин-7-О-гликозид являлся одним из основных фенольных компонентов листьев изучаемых сортов маслины. За весь период исследований концентрация лютеолин-7-О-гликозида колебалась в пределах 8,1–211,4 мг/100 г. Содержание лютеолин-7-О-гликозида в листьях сорта Раццо было значительно выше, чем у сорта Никитская. Самые низкие концентрации этого соединения наблюдались в осенние месяцы, затем в декабре, после снижения температуры воздуха до отрицательных значений, происходило резкое увеличение содержания лютеолин-7-О-гликозида у обоих сортов: в 2,5 раза у сорта Раццо и в 4 раза у сорта Никитская. В январе у морозостойкого сорта концентрация падала, а у слабоморозостойкого сорта продолжала расти более чем на 50 %. В феврале на фоне длительного воздействия низкотемпературного стресса концентрация лютеолин-7-О-гликозида в несколько раз снижалась у обоих сортов. В марте, по окончании холодного периода, у слабоморозостойкого сорта происходило дальнейшее снижение концентрации данного флавоноида, а у морозостойкого, наоборот – повышение.

Содержание рутина в листьях двух сортов маслины колебалось в пределах 0,4–1,5 мг/100 г. Значительное возрастание концентрации происходило в ноябре месяце, затем ее уровень снижался, как у сорта Никитская, так и у сорта Раццо. В январе у морозостойкого сорта содержание рутина продолжало снижаться, а у слабоморозостойкого возрастало. В феврале концентрация падала уже у обоих сортов, а в марте – росла у сорта Никитская и снижалась еще больше у сорта Раццо.

Известно, что флавоноиды, выполняя роль антиоксидантов, участвуют в адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды [8]. Неоднородность динамики накопления отдельных флавоноидных гликозидов в листьях двух сортов маслины с различной морозостойкостью в холодный период на Южном берегу Крыма свидетельствует о связи концентрации данных веществ с формированием устойчивости растений маслины к воздействию низких и отрицательных температур.

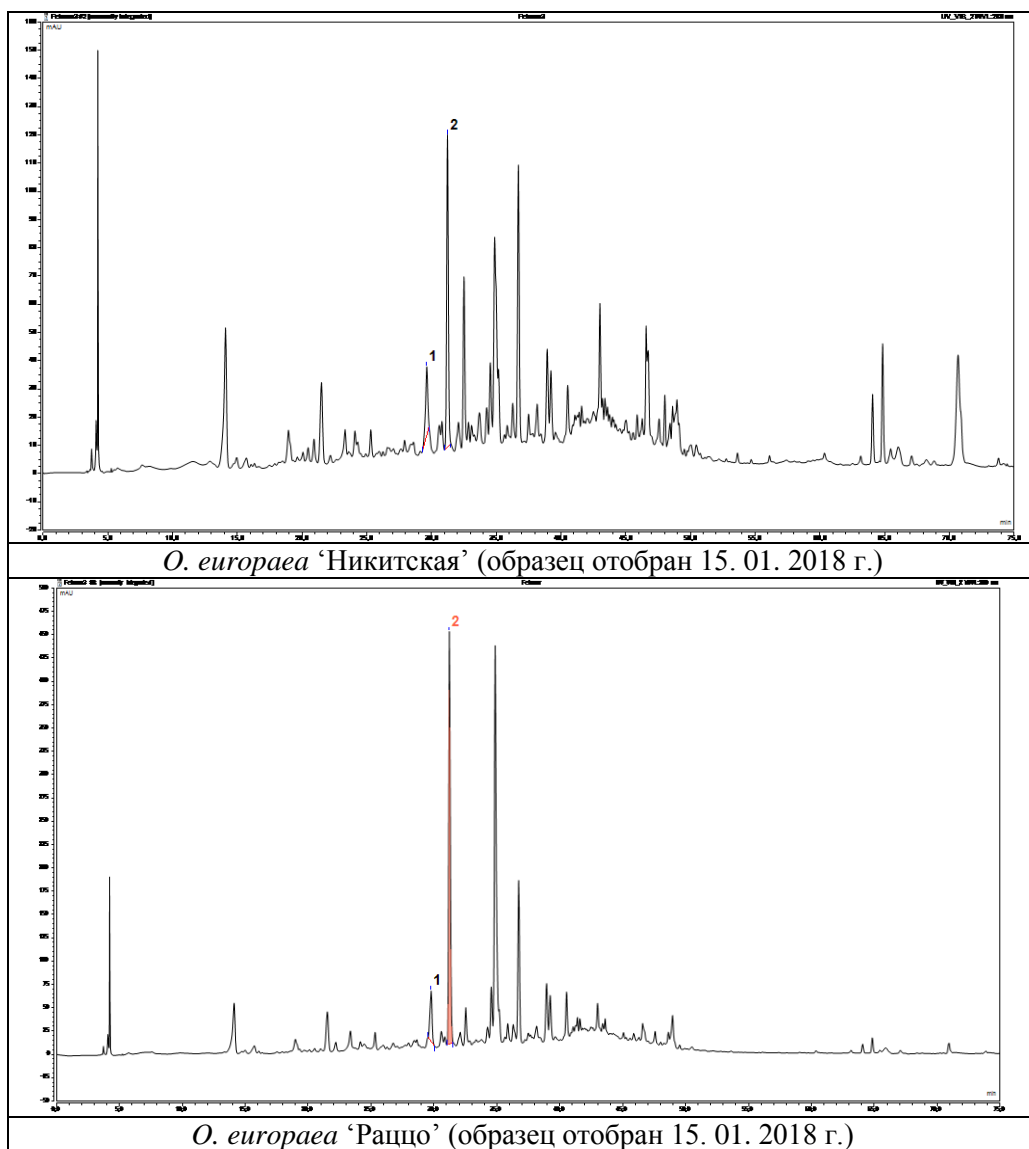


Рис.1 Хроматограммы этанольных экстрактов из листьев *O. europaea* при 280 нм. 1 – рутин, 2 – лютеолин-7-О-гликозид

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании изменений содержания суммы фенольных соединений, лютеолин-7-О-гликозида и рутина в листьях двух сортов маслины европейской в холодный период на Южном берегу Крыма установлено, что устойчивость сортов маслины к воздействию низких и отрицательных температур зависит от степени накопления лютеолин-7-О-гликозида и рутина, и не зависит от изменения содержания суммы фенольных соединений.

Список литературы

1. Larcher W. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants / W. Larcher // Plant Biosystems. – 2000. – Vol. 134. – P. 279–295.
2. El S. N. Olive tree (*Olea europaea*) leaves: potential beneficial effects on human health / S. N. El, S. Karakaya // Nutrition Reviews. – 2009. – Vol. 67, No 11. – P. 632–638.
3. Lockyer S. Olive leaf phenolics and cardiovascular risk reduction: Physiological effects and mechanisms of action / S. Lockyer, P. Yaqoob, J. P. E. Spencer, I. Rowland // Nutrition and Aging. – 2012. – Vol. 1. – P. 125–140.
4. Moudache M. Phenolic content and antioxidant activity of olive by-products and antioxidant film containing olive leaf extract / M. Moudache, M. Colon, C. Nerin, F. Zaidia // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 212. – P. 521–527.
5. Pu-Jun X. Phenolic compositions, and antioxidant performance of olive leaf and fruit (*Olea europaea* L.) extracts and their structure–activity relationships / X. Pu-Jun, H. Li-Xin, Zh. Cai-Hong, Zh. Yao-Lei // Journal of Functional Foods. – 2015. – Vol. 16. – 460–471.
6. Saibandith B. Olive Polyphenols and the Metabolic Syndrome / B. Saibandith, J. P. Spencer, I. R. Rowland, D. M. Commane // Molecules. – 2017. – Vol. 22, No 7. – P. 1082.
7. Talhaoui N., Taamalli A., Gómez-Caravaca A. M., Fernández-Gutiérrez A., Segura-Carretero A. Phenolic compounds in olive leaves: Analytical determination, biotic and abiotic influence, and health benefits // Food Research International. – 2015. – Vol. 77, No 2. – P. 92–108.
8. Запрометов М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов, – М.: Наука, 1993. – 272 с.
9. Ortega-Garcia F. The response of phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase and phenols to cold stress in the olive tree (*Olea europaea* L. cv. Picual). / F. Ortega-Garcia, J. Peragon // Journal Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 89. – 1565–1573.
10. Ortega-Garcia F. Phenol metabolism in the leaves of the olive tree (*Olea europaea* L.) cv. Picual, Verdial, Arbequina, and Frantoio during ripening / F. Ortega-Garcia, J. Peragon // Journal Agricultural and Food Chemistry. – 2010. – Vol. 58. – 12440–12448.
11. Гержикова В. Г. Методы теххимического контроля в виноделии / В. Г. Гержикова. – Симферополь: Таврида, 2002. – 259 с.
12. ГОСТ 24027.2-80 Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. Введ. 1981–01–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 10 с.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
14. Палий А. Е. Изменение физиолого-биохимических параметров у некоторых сортов *Olea europaea* L. с различной морозостойкостью / А. Е. Палий, О. А. Гребенникова, Т. Б. Губанова, И. Н. Палий // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2016. – Вып. 121. – С. 32–39.

CHANGE IN THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS IN THE LEAVES OF *OLEA EUROPAEA* L. CULTIVARS WITH VARYING DEGREES OF FROST TOLERANCE

Paliy A. E., Paliy I. N., Startseva O. V.

Federal State-Funded Institution of Science "The Order of the Red Banner Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of RAS", Yalta, Crimea, Russian Federation
E-mail: onlabor@yandex.ru

The change of total phenolics, luteolin-7-O-glucoside and rutin in the leaves of two cultivars of *Olea europaea* L. during the cold period on the Southern coast of Crimea has been studied. The frost-tolerant cultivar Nikitskaya and the slightly frost-tolerant cultivar Razzo were the target of research.

Total phenolics of olive leaves ranged from 684 to 1103 mg / 100 g. The onset of the first frosts was accompanied by a decrease in the concentration of total phenolics. The subsequent gradual lowering of the ambient temperature led to its increase.

Luteolin-7-O-glucoside content in olive leaves ranged from 8.1 to 211.4 mg / 100 g, rutin content ranged from 0.4 to 1.5 mg / 100 g. The lowest concentrations of luteolin-7-O-glycoside were observed during fall season. In December, there was a sharp increase in its content. In January, in the Nikitskaya cultivar, the concentration of luteolin-7-O-glycoside fell, while in the Razzo cultivar it continued to grow by more than 50 %. In February, against the background of long low temperatures exposure, the concentration of luteolin-7-O-glycoside decreased several times in both cultivars. In March, further decrease in the concentration of luteolin-7-O-glycoside in the Razzo cultivar took place, while in the Nikitskaya cultivar its concentration increased. A similar process was also observed during the study of changes in the rutin content.

The revealed differences in the dynamics of accumulation of luteolin-7-O-glucoside and rutin in olive leaves testify to the participation of these substances in the resistance of this culture to the effect of low-temperature stress.

As a result of the performed studies, it has been found that the resistance of olive cultivars to the effect of negative temperatures depends on the accumulation of luteolin-7-O-glycoside and rutin, and does not depend on the change in the concentration of total phenolics.

Keywords: *Olea europaea* L., leaf, total phenols, luteolin-7-O-glucoside, rutin, frost resistance.

References

1. Larcher W. Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants, *Plant Biosystems*, **134**, 279 (2000).
2. El S. N., Karakaya S. Olive tree (*Olea europaea*) leaves: potential beneficial effects on human health, *Nutrition Reviews*, **67**, **11**, 632 (2009).
3. Lockyer S., Yaqoob P., Spencer J. P. E., Rowland I. Olive leaf phenolics and cardiovascular risk reduction: Physiological effects and mechanisms of action, *Nutrition and Aging*, **1**, 125 (2012).
4. Moudache M., Colon M., Nerin C., Zaidia F. Phenolic content and antioxidant activity of olive by-products and antioxidant film containing olive leaf extract, *Food Chemistry*, **212**, 521 (2016).

5. Pu-Jun X., Li-Xin H., Cai-Hong Zh., Yao-Lei Zh. Phenolic compositions, and antioxidant performance of olive leaf and fruit (*Olea europaea* L.) extracts and their structure–activity relationships, *Journal of Functional Foods*, **16**, 460 (2015).
6. Saibandith B., Spencer J. P., Rowland I. R., Commane D. M. Olive polyphenols and the metabolic syndrome, *Molecules*, **22**, **7**, 1082 (2017).
7. Talhaoui N., Taamalli A., Gómez-Caravaca A. M., Fernández-Gutiérrez A., Segura-Carretero A. Phenolic compounds in olive leaves: Analytical determination, biotic and abiotic influence, and health benefits, *Food Research International*, **77**, **2**, 92 (2015).
8. Zaprometov M. N. *Phenolic compounds: distribution, metabolism and function in plants*, 272 p. (Moscow: Nauka, 1993).
9. Ortega-Garcia F., Peragon J. The response of phenylalanine ammonia-lyase, polyphenol oxidase and phenols to cold stress in the olive tree (*Olea europaea* L. cv. Picual), *Journal Agricultural and Food Chemistry*, **89**, 1565 (2009).
10. Ortega-Garcia F., Peragon J. Phenol Metabolism in the Leaves of the Olive Tree (*Olea europaea* L.) cv. Picual, Verdial, Arbequina, and Frantoio during Ripening, *Journal Agricultural and Food Chemistry*, **58**, 12440 (2010).
11. Gerzhikova V. G. *Techno-chemical control methods in winemaking*, 259 p. (Simferopol: Tavrida, 2002).
12. GOST 24027.2-80 Methods for determination of moisture, ash content, extractive and tannin materials, essential oil. Available at: <http://meganorm.ru/Data2/1/4294830/4294830157.pdf>
13. Lakin G. F. *Biometrics: a textbook for the biological specialties of universities*, 352 p. (Moscow: Higher School, 1990).
14. Paliy A. E., Grebennikova O. A., Gubanova T. B., Paliy I. N. Change of physiological and biochemical parameters of some *Olea europaea* L. cultivars with different frost resistance, *Proceedings of the State Nikita Botanical Garden*, **121**, 32 (2016).

УДК 57.042; 612.15

ТКАНЕВАЯ МИКРОГЕМОДИНАМИКА ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ОСТРОГО СТРЕССА

Раваева М. Ю., Чуян Е. Н., Пивоварчук А. В., Колесник В. В.

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

Исследование посвящено выявлению особенностей реакции тканевой микрогемодинамики животных к условиям острого стресса. Методом лазерной доплеровской флоуметрии установлено, что в процесс адаптации тканевой микроциркуляции к действию острого стресса включаются все регуляторные механизмы, как сосудистого, так и внесосудистого генеза. Особенностью реакции тканевой микрогемодинамики животных к условиям острого стресса является определенный паттерн: нутритивная гиперемия (через один час после действия стресс-фактора) сменяется нутритивной (через 24 часа после действия стресс-фактора) и вновь возвращается к нутритивной (через 48 часов после действия стресс-фактора).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 18-44-910008 р_а.

Ключевые слова: микроциркуляция, острый стресс, лазерная доплеровская флоуметрия, гиперемия.

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество характеризуется все большим распространением "болезней цивилизации", патогенетической основой которых является эмоциональный стресс [1, 2].

Неблагоприятные воздействия, которые испытывает организм человека в условиях техногенного прессинга, социальной нестабильности, напряженного ритма жизни выступают этиологическим фактором многих заболеваний сердечно-сосудистой, нервной, иммунной, пищеварительной, эндокринной и других систем [3]. Среди этих заболеваний сердечно-сосудистые, онкологические, легочные болезни, сахарный диабет и язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки прочно заняли ведущие места среди причин смертности, инвалидности и временной нетрудоспособности [2].

Обращает на себя внимание тот факт, что в патогенезе большинства заболеваний основную роль играет нарушение микроциркуляции (Мц) [4], снижение кровотока в тканях и, как следствие – накопление там продуктов окисления и повреждающих ткани свободных радикалов. О ведущей роли системы микроциркуляции в функционировании организма и развитии патологических процессов свидетельствуют многочисленные исследования ученых разных специальностей, которые консолидированы в Европейском обществе по микроциркуляции (ESM) и Европейской организации сосудистой биологии (EVBO).

В микроциркуляторном русле реализуется его реакция на воздействие факторов внешней и внутренней среды. При этом отклик системы микроциркуляции на действие факторов различной природы и интенсивности может быть различным и до конца еще не исследован.

До настоящего времени единого мнения на процессы реакции микроциркуляции на действие различных стрессоров не сформировано. В наших предыдущих исследованиях установлены реакции микроциркуляции на хронический гипокинетический стресс [5], выявлены нейроиммунноэндокринные механизмы развития стресс-реакции в организме [6]. Однако до сих пор не исследована реакция тканевой микрогемодинамики на изолированное действие острого стресса (ОС), что важно для понимания специфичности развития адаптационных реакций организма на действие стрессоров разной силы и продолжительности.

В связи с этим целью настоящего исследования явилось выявление особенностей реакции тканевой микрогемодинамики животных к условиям острого стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики КФУ имени В. И. Вернадского.

Для каждого из 3 повторений эксперимента было отобрано по 20 самцов белых лабораторных крыс линии Вистар массой 200–300 грамм, характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля» [7], которые составляют большинство в популяции. Животные были разделены на две группы по 10 животных. Первая группа являлась биологическим контролем (К); у животных данной группы регистрировались показатели микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на протяжении 13 суток. Вторая группа животных подвергалась действию острого стресса (ОС), после чего регистрировались параметры микроциркуляции (через 1 час), а также на вторые (через 24) и третьи сутки (через 48 часов).

Классической моделью острого стресса, используемой как при изучении действия стресс-факторов с заранее известными свойствами, так и для выявления новых классов стресс-факторов [8], является язвообразование слизистой оболочки желудка. Согласно теории Г. Селье (1960) [9], появление кровоизлияний и язв в слизистой желудочно-кишечного тракта, наряду с уменьшением тимуса и увеличением коры надпочечников являются основными неспецифическими признаками развития стресс-реакции – «триада изменений». В наших предыдущих исследованиях показано [10], что в данной модели у 100 % животных спустя 1 час после действия стресс-фактора наблюдались ulcerогенные поражения, средняя площадь которых составила $26,2 \pm 4,32$ мм².

Стресс-реакция была индуцирована в модели теста вынужденного плавания [11] в бассейне в течение 60 мин. За 24 часа до стрессорного воздействия животные всех групп были лишены пищи при свободном доступе к воде. Для увеличения

стрессорного воздействия в бассейн (уровень воды – 30 см, температура воды +20 °С) одновременно помещались 3–4 крысы. ЛДФ-метрию производили перед моделированием ОС и непосредственно после него.

ЛДФ-метрия проводилась при помощи лазерного анализатора кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (производство НПП «Лазма», Россия) с использованием программы LDF 2.20.0.507WL.

Поскольку метод ЛДФ-метрии является высокочувствительным, для сведения к минимуму внешних помех, крысу на время записи помещали в прозрачный пенал из оргстекла, ограничивающий подвижность животного. Хвост крысы фиксировали на ровной поверхности на одной линии с телом в горизонтальном положении тканевым пластырем. Оптоволоконный зонд прибора «ЛАКК-02» фиксировали тканевым пластырем перпендикулярно у основания хвоста животного. Эта зона является оптимальным объектом для исследования нейрогенной регуляции сосудов [12].

В качестве параметров, анализируемых методом ЛДФ, регистрировали неосцилляторные показатели базального кровотока: показатель перфузии (ПМ, перф. ед.), среднее квадратичное отклонение (флакс, СКО, перф. ед.), коэффициент вариации (КВ, %) [13-15]. С помощью вейвлет-анализа ЛДФ-сигнала определяли амплитуды колебаний кровотока разных частотных диапазонов. Наиболее низкая частота (0,0095–0,02 Гц) характерна для эндотелиальных колебаний, обусловленных периодическими сокращениями цитоскелета эндотелиоцитов. Эндотелиальные колебания отражают воздействие гуморально-метаболических факторов на микрососудистое русло и характеризуют состояние нутритивного кровотока [Крупаткин]. Колебания в частотах 0,07–0,15 Гц, или миогенные колебания, обусловлены периодической активностью гладкомышечных волокон артериол, приводящих к изменению диаметра их просвета (вазомоции) [16]. На такую периодичность констрикции и дилатации микрососудов накладываются нейрогенные колебания (0,02–0,046 Гц), отражающие симпатическую регуляторную активность [13, 16, 17]. К высокочастотным колебаниям относятся дыхательные (0,15–0,4 Гц) и пульсовые (0,8–0,16 Гц). Дыхательные волны представлены периодическими изменениями давления в венозном отделе сосудистого русла, вызываемыми дыхательными экскурсиями грудной клетки [13]. Пульсовые колебания кровотока обусловлены перепадами внутрисосудистого давления, которые в большей или меньшей степени синхронизированы с ритмом [15, 17].

Для статистической обработки были использованы данные трёх повторений эксперимента. Применялись непараметрические методы статистики, поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального. Расчеты, статистическая обработка и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета StatSoft\STATISTICA 8.С помощью критерия Манна-Уитни проводилась оценка различий между двумя независимыми выборками в группах ОС и контроля. Таким образом, была произведена проверка уровня достоверности изменения показателей микроциркуляции крови у крыс, подверженных действию острого стрессорного фактора по сравнению с контрольными показателями. Межгрупповые различия считались достоверными при $p \leq 0,05$. Для каждого показателя был рассчитан

коэффициент сдвига по формуле: $K=(Xэ*100)/Xк-100$, где $Xэ$ – значения показателей микроциркуляции в экспериментальной группе; $Xк$ – контрольные значения показателей микроциркуляции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что на протяжении всего периода эксперимента у животных контрольной группы достоверных изменений показателей Мц не наблюдалось. В то же время, у животных экспериментальной группы, спустя один час после моделирования острого стресса, зарегистрировано повышение осцилляторных и неосцилляторных показателей. При этом наиболее существенно увеличивались амплитуды колебаний эндотелиального ($Aэ$, на 57 %, $p\leq 0,01$), нейрогенного ($Aн$, на 57 %, $p\leq 0,01$), миогенного ($Aм$, на 69 %, $p\leq 0,01$) ритмов по отношению к таковым в контрольной группе животных (рис. 1).

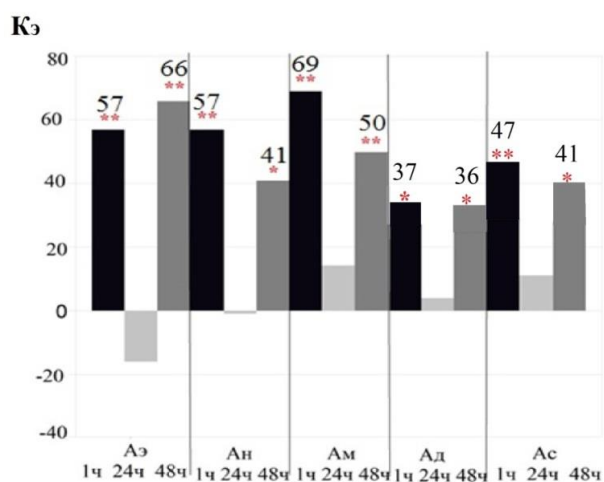
Поскольку известно, что амплитуды эндотелиального генеза ($Aэ$) синхронизированы с периодическим релизингом NO эндотелием сосудов [18], то увеличение данного показателя свидетельствует об увеличении секреторной функции эндотелия и развитии эндотелий-зависимой вазодилатации при стрессорном воздействии.

Миогенные осцилляции ($Aм$) обусловлены пейсмекерной активностью прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол [19] и отражают колебания концентрации ионов Ca^{2+} через мембраны мышечных клеток [16, 19]. Следовательно, повышение $Aм$ при ОС у животных свидетельствует о снижении тонуса прекапилляров, обусловленного нарушением кальциевого трансмембранного обмена.

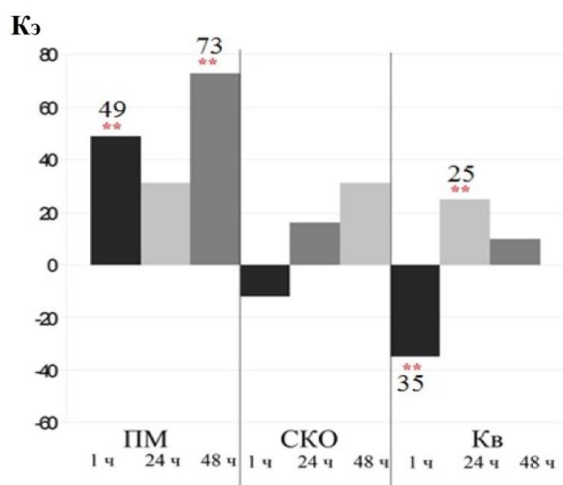
Нейрогенные колебания ($Aн$) связаны с симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы артериол и артериоларных участков артерио-венулярных анастомозов [15, 20]. Повышение $Aн$ при ОС свидетельствует о снижении активности симпатических адренергических вазомоторов, и, как следствие – развитию симпатической вазодилатации.

На фоне увеличения сосудистых компонентов тканевой микрогемодинамики, стрессорное воздействие привело к увеличению активности и внесосудистых, а именно амплитуд пульсовой волны ($Aс$, на 27 %, $p\leq 0,05$) (см. рис. 1), которые отражают перфузионное давление в микрососудах и обусловлены как сердечным выбросом, перепадами систолического и диастолического давления, так и влиянием посткапиллярного сопротивления [21] и амплитуд дыхательных ритмов ($Aд$, на 25 %, $p\leq 0,05$), которые связаны с дыхательной модуляцией веноулярного кровотока и с респираторными влияниями на вегетативное обеспечение деятельности сердца [19].

Таким образом, через один час после действия острого стрессирующего фактора у животных наблюдалось развитие вазодилатации за счет усиления метаболической активности эндотелия, снижения активности симпатических адренергических вазомоторов и снижения тонуса прекапилляров. Этот эффект развивался при усилении притока артериальной крови (увеличение $Aс$) и затруднении венозного оттока (увеличение $Aд$).



А



Б

Рис. 1. Динамика осцилляторных (А) и неосцилляторных (Б) показателей при развитии острого стресса (Кэ).

Примечания: * – достоверность различий показателей по отношению к значениям в контрольной группе животных при $p \leq 0,05$, ** – при $p \leq 0,01$.

В пользу увеличения перфузии тканей свидетельствует и достоверное увеличение ПМ на 49 % ($p \leq 0,05$). Известно, что ПМ – интегральный показатель микроциркуляции, включающий в себя постоянную и переменную составляющие. Постоянная составляющая – это средняя перфузия в микроциркуляторном русле за определённый промежуток времени. Переменная составляющая ЛДФ-сигнала обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока крови, то есть связана

с обстоятельствами, изменяющими величину скорости и концентрацию эритроцитов [15]. Таким образом, увеличение ПМ может быть связано как с ослаблением артериального сосудистого тонуса, которое приводит к увеличению объёма крови в артериолах, так и с явлениями застоя крови в веноулярном звене. В пользу последнего свидетельствует как повышение Ад, так и снижение Кв (на 35 %; $p \leq 0,05$), характеризующего соотношение СКО (среднего квадратичное отклонение от среднего арифметического значения ПМ) к среднему уровню перфузии. Причем, снижение Кв, как правило, связано не только с ослаблением активных механизмов контроля, но и уменьшением энергетики колебательного процесса [15].

Таким образом, реакция Мц через 1 час после моделирования ОС у животных выражалась в увеличении притока крови и нарушении венозного оттока.

Спустя сутки (24 часа) после действия стрессирующего фактора наблюдалось приближение практически всех показателей Мц к контрольным значениям, о чем свидетельствует отсутствие достоверных различий между данными показателями в контрольной и экспериментальной группах животных. При этом зарегистрировано достоверное повышение значения Кв на 25 % ($p \leq 0,01$) относительно контроля, что в сочетании с ПМ, находящимся в пределах нормы, отражает усиление активных механизмов контроля Мц и возрастание энергетики колебательного процесса [15].

Спустя 48 часов после действия стрессирующего фактора все осцилляторные и неосцилляторные показатели вновь значительно превысили значения в контрольной группе животных. Так, Аэ увеличился на 66 % ($p \leq 0,01$), Ан – на 41 % ($p \leq 0,01$), Ам – на 50 % ($p \leq 0,01$), Ад – на 22 % ($p \leq 0,05$), Ас – на 23 %, ($p \leq 0,05$) по сравнению с таковыми в контрольной группе животных (см. рис. 1). Среди неосцилляторных показателей наблюдалось повышение ПМ на 73 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с таковым в контрольной группе животных.

Следовательно, через 48 часов после ОС развивалась вазодилатация за счет усиления метаболической активности эндотелия, снижения активности симпатических адренергических вазомоторов и снижения тонуса прекапилляров. Необходимо отметить схожесть реакции Мц на ОС через 1 и 48 часов после действия стресс-фактора, однако выраженность вазодилатации через 48 часов после действия ОС была выше.

Таким образом, в процессе адаптации Мц к ОС включаются все регуляторные механизмы, как сосудистого (Аэ, Ам, Ан), так и внесосудистого (Ад и Ас) генеза. При этом развитие ОС сопровождалось трехфазным изменением перфузии тканей: через час наблюдалось увеличение параметров Мц, через 24 часа – восстановление всех показателей (кроме Кв) до исходного уровня, а через 48 часов – опять их достоверное увеличение по отношению к показателям в контрольной группе животных.

Известно [15], что изменения микроциркуляции, при которых регистрируется повышение перфузии и снижение тонуса микрососудов, свидетельствуют о развитии гиперемии. Подтверждением этому является изменение отношения Ас/Ад, которое отражает соотношение перфузии артериального и венозного отделов капилляров [22]. Так, в случае, когда величина $(Ас/Ад) > 1$ при увеличении

среднеарифметического значения ПМ диагностируют артериальную гиперемию, а при уменьшении ПМ – ишемию. Если же величина $(A_c/A_d) \leq 1$, диагностируют застойные формы микрогемодинамики.

Как показали результаты настоящего исследования, соотношение A_c/A_d после действия ОС превышает 1 во все сроки регистрации показателей Мц: через один час оно составляло 1,053, через 24 часа – 1,073, а через 48 часов – 1,121. Таким образом, постепенное увеличение отношения A_c/A_d на фоне повышенного ПМ подтверждает развитие артериальной гиперемии [15, 22].

Поскольку известны две формы артериальной гиперемии: при ненутритивной гиперемии часто увеличена амплитуда эндотелиальных колебаний, тогда как при нутритивной – доминирует амплитуда осцилляций общего миогенного диапазона [22], то можно предположить, что спустя час и 48 часов после моделирования ОС развивается ненутритивная артериальная гиперемия. Несмотря на то, что через 24 ч все показатели приближались к таковым в контрольной группе животных, обращает на себя внимание увеличение ПМ на уровне тенденции ($p=0,065$) и достоверное увеличение K_v , что может свидетельствовать о увеличенном притоке крови. Учитывая, что соотношение $(A_c/A_d) > 1$, а также угнетение A_z , можно предположить, что через 24 часа наблюдался переход от ненутритивной гиперемии к нутритивной ее форме с характерной совокупностью признаков (повышение ПМ, доминирование амплитуд осцилляций общего миогенного диапазона).

Важно отметить определенный паттерн изменений кожной Мц на ОС: гиперемия, регистрируемая сразу после моделирования ОС, спустя сутки исчезает и появляется через 48 часов после стресса. Вероятно, данную реакцию Мц в восстановительный период после стресса, следует рассматривать в качестве следовых процессов [23]. В работах И. О. Меерсона по адаптации к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам было сформировано понятие «системного структурного следа» как следствие таких нагрузок [24]. Очевидно, что дизайн моделирования ОС в настоящем исследовании не позволяет говорить о структурных перестройках в системе Мц, однако заставляет задуматься о функциональном памятном «следе», который сохраняет результаты взаимодействия организма со стресс-факторами и содержит некоторые «избыточные» компоненты, как, например, готовность Мц к резкому росту спроса на питательные вещества и кислород в виде развития гиперемии. Именно эта «избыточность», возможно, направлена на обеспечение адаптации к следующему повтору стимула и обеспечивает экономичность функционирующей системы, снизив таким образом «цену» адаптации. Однако для уточнения процессов, происходящих в кожной Мц после действия ОС, требуется увеличение продолжительности проведения ЛДФ-метрии до 72 и более часов.

Таким образом, изменчивость функциональной архитектоники капиллярного русла создает условия для адаптации микроциркуляторного кровотока к потребностям тканей в питательных веществах и удалению метаболитов. Причем, эффективность адаптации Мц к действию стрессоров определяет эффективность адаптации всей сердечно-сосудистой системы организма, поскольку вслед за изменениями в микроциркуляторных сосудах, обеспечивающих рабочую

гиперемии, происходят изменения и в артериях крупного калибра – так называемый феномен «восходящей» волны дилатации, основанный на электромеханическом сопряжении возбуждения гладкомышечных клеток артериол и стенок крупных сосудов.

Несмотря на то, что гиперемия направлена на адаптацию Мц к условиям ОС, последствия гиперемии могут быть весьма тяжелыми: перерастяжение и микроразрывы стенок сосудов микроциркуляторного русла, микро- и макрокровоизлияния в ткани, кровотечения (наружные и/или внутренние). Гиперемия, как симптом сопровождает заболевания органов дыхания (ангина, фарингит, ларингит), глаз (конъюнктивит), сердечно-сосудистой системы (ишемия, тромбоз, тромбоз, эмболия) и кожных покровов (дерматит, экзема), аллергия. Поэтому устранение или предупреждение реакции Мц на ОС и развитие гиперемии является актуальной клинической и физиологической проблемой, а определение факторов, лимитирующих развитие гиперемии, будет являться целью наших дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В процесс адаптации тканевой микроциркуляции к действию острого стресса включаются все регуляторные механизмы, как сосудистого (Аэ, Ам, Ан), так и внесосудистого (Ад и Ас) генеза.
2. Спустя один час после действия острого стрессирующего фактора у животных наблюдалось достоверное увеличение всех показателей ЛДФ-метрии, что указывает на развитие вазодилатации кожных микрососудов.
3. Через 24 часа все показатели ЛДФ-метрии приближались к таковым в контрольной группе животных за исключением увеличения Кв ($p \leq 0,01$), тенденции к увеличению ПМ ($p = 0,065$) на фоне увеличения соотношения $(Ас/Ад) > 1$.
4. Через 48 часов после действия стресс-фактора происходило достоверное повышение всех исследуемых показателей ЛДФ-метрии, что свидетельствовало о развитии вазодилатации сосудов микроциркуляции, при этом данная реакция была более выраженной, чем через один час.
5. Особенностью реакции тканевой микрогемодинамики животных к условиям острого стресса является определенный паттерн: нутритивная гиперемия (через один час после действия стресс-фактора) сменяется нутритивной (через 24 часа после действия стресс-фактора) и вновь возвращается к нутритивной (через 48 часов после действия стресс-фактора).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 18-44-910008 p_a.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Sikter A. New aspects in the pathomechanism of diseases of civilization, particularly psychosomatic disorders. Part 2. Chronic hypocapnia and hypercapnia in the medical practice / Sikter A., Rihmer Z., Guevara R. // *Neuropsychopharmacol Hung.* – 2017. – Sep. 19(3). – P. 159–169.
2. Sikter A. New aspects in the pathomechanism of diseases of civilization, particularly psychosomatic disorders. Part 1. Theoretical background of a hypothesis/ Sikter A., Rihmer Z., Guevara R. // *Neuropsychopharmacol Hung.* – 2017. – Jun. 19 (2). – P. 95–105.
3. Lahelma E1. Multiple roles and health among British and Finnish women: the influence of socioeconomic circumstances / Lahelma E1, Arber S., Kivelä K., Roos E. // *Soc Sci Med.* – 2002. – Mar. 54(5). – P. 727–40.
4. Selthofer-Relatic K. Coronary Microcirculatory Dysfunction in Human Cardiomyopathies: A Pathologic and Pathophysiologic Review / Selthofer-Relatic K., Mihalj M., Kibel A., Stupin A., Stupin M., Jukic I., Koller A., Drenjancevic I. // *Cardiol Rev.* – 2017. – Jul/Aug.25(4). – P. 165–178.
5. Чуян Е. Н. Механизмы вазопротекторного действия электромагнитного излучения крайне высокой частоты в условиях хронического гипокинетического стресса / Е. Н. Чуян, М. Ю. Раваева // *Биомедицинская радиоэлектроника.* – 2017. – № 3. – С. 55–65.
6. Чуян Е. Н. Гипокинетический стресс влияет на межполушарную асимметрию метаболических процессов мозга крыс / Чуян Е. Н., Раваева М. Ю. // *Образование и наука: современные тренды Коллективная монография. Сер. "Научно-методическая библиотека".* – 2016. – С. 38–49.
7. Hall C. S. Emotional behavior in the rat: 1. Defecation and urination as measures of individual differences in emotionality / Hall C. S. // *J. Contr. Psychol.* – 1934. – Vol. 18. – P. 385–403.
8. Overmier J. B. Prediction of individual vulnerability to stress-induced gastric ulcerations in rats: a factor analysis of selected behavioral and biological indices / Overmier J. B., Murison R., Johnsen T. B. // *Physiol Behav.* – 1997. – Apr. 61(4). – P. 555–62.
9. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. / Селье Г. – М.: Медгиз, 1960. – С.254–255.
10. Раваева М. Ю. Влияние электромагнитного излучения крайне высокой частоты на стрессорный улцерогенез / Раваева М. Ю., Чуян Е. Н., Береговая Т. В. // *Світ медицини та біології.* – 2013. – Т. 9, № 4–2 (42). – С. 90–93.
11. Porsolt R. D. Psychotropic screening procedures / Porsolt R. D., McArthur R. A., Lenegre A. // *Methods in Behavioral Pharmacology*, Ed. F. van Naaren, Elsevier. – 1993. – P. 23–51.
12. Чуян Е. Н. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного эми квч. / Е. Н. Чуян, Н. А. Темурьянц, О. Б. Московчук: монография. – Симферополь : ЧП «Эльиньо», 2003. – 448 с.
13. Козлов В. И. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции / В. И. Козлов, Л. В. Корси, В. Г. Соколов // *Физиология человека.* – 1998. – Т. 24, №6. – 112 с.
14. Козлов В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии / Козлов В. И., Мач Э. С., Литвин Ф. Б., Терман О. А., Сидоров В. В. // *Пособие для врачей.* – 2001. – 22 с.
15. Крупаткин А. И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: руководство для врачей. / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005. – 254 с.
16. Маколкин В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В. И. Маколкин, В. В. Бранько, С. А. Богданова. // *Пособие для врачей.* – М.: Россельхозакадемия. – 1999. – 48 с.
17. Hoffman U. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion. / Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. // *Microvascul. Res.* – 1990. – P. 293–301.
18. Kvandal P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines. / Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. // *Microvascular Research.* – 2003. – P. 160–171.
19. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / Stefanovska A. // *Contemporary Physics.* – 1999. – Vol. 40. – №1. – P. 31–35.
20. Schmid-Schonbein H. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous

- pressure fluctuations./ Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. // *Int. J. Microcir.* – 1997. – №17. – P. 346–359.
21. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / Stefanovska A., Bracic M. // *Contemporary Physics.* – 1999. – 40 (1). – P. 31–35.
 22. Крупаткин А. И. Пульсовые и дыхательные осцилляции кровотока в микроциркуляторном русле кожи / А. И. Крупаткин // *Физиология человека.* – 2008. – Т. 34, No 3. – С. 70–76.
 23. Головкин Н. Г. Изменение жесткости артериальных стенок под влиянием беговых нагрузок / Н. Г. Головкин, В. Д. Богачев, О. А. Плужников // *Теория практика физической культуры.* – 2012. – №11. – С. 56–58.
 24. Меерсон Ф. З. Основные закономерности индивидуальной адаптации. Физиология адаптационных процессов / Ф. З. Меерсон. – М.: Наука, 1986. – 278 с.

TISSUE MICROHEMODYNAMICS ANIMALS IN CONDITIONS OF ACUTE STRESS

Ravaeva M. Yu., Chuyan E. N., Pivovarchuk A. V., Kolesnik V. V.

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

The present study is devoted to revealing the peculiarities of the reaction of tissue microhemodynamics of animals to the conditions of acute stress. The study was carried out on the basis of the Center for collective use of scientific equipment "Experimental Physiology and Biophysics" of the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University.

The animals were divided into two groups of 10 animals. The first group was biological control; in the animals of this group, the microcirculation parameters were recorded by the laser Doppler flowmetry (LDF) method for 13 days. The second group of animals was exposed to acute stress, after which the parameters of microcirculation were recorded (after 1 hour), and second (24) and third days (48 hours). The stress response was induced in the forced swimming test in the pool for 60 minutes. The LDF-metry was performed with the help of the laser analyzer of the blood flow "LAZMA-MC".

The results of the research showed that in the adaptation of tissue microcirculation to the action of acute stress all regulatory mechanisms of both vascular and extravascular genesis are included. One hour after the action of the acute stress factor, a significant increase in all parameters of the LDF-metry was observed in animals, which indicates the development of vasodilation of cutaneous microvessels. After 24 hours, all LDF metrics were close to those in the control group of animals, except for an increase in the coefficient of variation ($p \leq 0.01$), a trend towards an increase in the perfusion index ($p = 0.065$) against the background of an increase in the ratio (Acardio / Apneumo) > 1 . Forty-eight hours after the action of the stress factor, there was a significant increase in all the parameters of the LDF-metry, which indicated the development of vasodilation of the vessels of microcirculation, and this reaction was more pronounced than in one hour. Thus, the peculiarity of the reaction of tissue microhemodynamics of animals to the conditions of acute stress is a certain pattern: non-nutritive hyperemia (one hour after the

action of the stress factor) is replaced by the nutritive (24 hours after the action of the stress factor) and again returns to non-tritiated (48 hours after actions of the stress factor).

The study was carried out with the financial support of the RFBR and the Council of Ministers of the Republic of Crimea in the framework of the scientific project No. 18-44-910008 p_a.

Keywords: microcirculation, acute stress, laser Doppler flowmetry, hyperemia.

References

1. Sikter A., Rihmer Z., Guevara R. New aspects in the pathomechanism of diseases of civilization, particularly psychosomatic disorders. Part 2. Chronic hypoxemia and hypercapnia in the medical practice, *Neuropsychopharmacol Hung.*, **19(3)**, 159 (2017).
2. Sikter A., Rihmer Z., Guevara R. New aspects in the pathomechanism of diseases of civilization, particularly psychosomatic disorders. Part 1. Theoretical background of a hypothesis *Neuropsychopharmacol Hung.*, **19 (2)**, 95 (2017).
3. Lahelma E., Arber S., Kivelä K., Roos E. Multiple roles and health among British and Finnish women: the influence of socioeconomic circumstances, *Soc Sci Med.*, **54(5)**, 727 (2002).
4. Selthofer-Relatic K., Mihalj M., Kibel A., Stupin A., Stupin M., Jukic I., Koller A., Drenjancevic I. Coronary Microcirculatory Dysfunction in Human Cardiomyopathies: A Pathologic and Pathophysiologic Review, *Cardiol. Rev.*, **25(4)**, 165 (2017).
5. Chuyan E. N., M. Yu. Ravaeva. Mekhanizmy vazoprotekornogo deystviya elektromagnitnogo izlucheniya krayne vysokoy chastoty v usloviyakh khronicheskogo gipokineticheskogo stressa, *Biomeditsinskaya radioelektronika*, **3**, 55, (2017).
6. Chuyan E. N., Ravaeva M. Yu. Gipokineticheskiy stress vliyayet na mezhpulusharnuyu asimmetriyu metabolicheskikh protsessov mozga krys, *Obrazovaniye i nauka: sovremennyye trendy Kollektivnaya monografiya*. Ser. "Nauchno-metodicheskaya biblioteka", 38 (2016)
7. Hall C. S. Emotional behavior in the rat: 1. Defecation and urination as measures of individual differences in emotionality, *J. Comp. Psychol.*, **18**, 385 (1934).
8. Overmier J. B., Murison R., Johnsen T. B. Prediction of individual vulnerability to stress-induced gastric ulcerations in rats: a factor analysis of selected behavioral and biological indices, *Physiol Behav.*, **61(4)**, 555 (1997).
9. Sel'ye G. Ocherki ob adaptatsionnom sindrome, *Medgiz*, 254 (1960).
10. Ravaeva M. Yu., Chuyan Ye. N., Beregovaya T. V. Vliyaniye elektromagnitnogo izlucheniya krayne vysokoy chastoty na stressornyy ul'tserogenez, *Svit meditsini ta biologii*, **9, 4-2 (42)**, 90 (2013).
11. Porsolt R. D., McArthur R. A., Lenegre A. Psychotropic screening procedures, *Methods in Behavioral Pharmacology*, Ed. F. van Haaren, Elsevier, 23 (1993).
12. Chuyan E. N., Temur'yants N. A., Moskovchuk O. B. Fiziologicheskiye mekhanizmy biologicheskikh effektov nizkointensivnogo EMI KVCH, monografiya, 448 p. (CHP «El'in'o»Simferopol', 2003).
13. Kozlov V. I., Korsi L. V., Sokolov V. G. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya i analiz kolektivnykh protsessov v sisteme mikrotsirkulyatsii, *Fiziologiya cheloveka*, **24, (6)**, 112 (1998).
14. Kozlov V. I., Mach E. S., Litvin F. B., Terman O. A., Sidorov V. V. Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii *Posobiye dlya vrachey*, 22 (2001).
15. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi: rukovodstvo dlya vrachey*, 254 p. (M., Meditsina, 2005).
16. Makolkin V. I., Bran'ko V. V., Bogdanova È. A. *Metod lazernoy dopplerovskoy floumetrii v kardiologii, Posobiye dlya vrachey*, 48 p. (M., Rossel'khozakademiya, 1999).
17. Hoffman U., Yanar A., Bolinger A. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion, *Microvascul. Res.*, 293 (1990).
18. Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines, *Microvascular Research*, 160 (2003).
19. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system, *Contemporary Physics*, **40(1)**, 31 (1999).

20. Schmid–Schonbein H., Ziege S., Grebe R. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations, *Int. J. Microcir.*, **17**, 346 (1997).
21. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system, *Contemporary Physics.*, **40** (1), 31 (1999).
22. Krupatkin A. I. Pul'sovyye i dykhatel'nyye ostsillyatsii krovotoka v mikrotsirkulyatornom rusle kozhi, *Fiziologiya cheloveka*, **34**(3), 70 (2008).
23. Golovko N. G., Bogachev V. D., Pluzhnikov O. A. Izmeneniye zhestkosti arterial'nykh stenok pod vliyaniem begovykh nagruzok, *Teoriya praktika fizicheskoy kul'tury*, **11**, 56 (2012).
24. Meyerson F. Z. *Osnovnyye zakonomernosti individual'noy adaptatsii. Fiziologiya adaptatsionnykh protsessov*, 278 p. (M.: Nauka, 1986).

УДК 612.763

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕНИНГА С БИОУПРАВЛЕНИЕМ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК ЗАНИМАЮЩИХСЯ БАДМИНТОНОМ

Сафронова Н. С., Нагаева Е. И., Сафронова П. С.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: nine195@rambler.ru*

Представлены результаты исследования, показывающие эффективность применения тренировки постуральной функции на основе биологически обратной связи (БОС) в развитии и совершенствовании общих и специфических координационных способностей студенток университета, занимающихся бадминтоном. Динамика уменьшения значений показателей статокинезиограммы свидетельствовала об усилении влияния двигательного анализатора и снижении роли зрения в обеспечении статокинетической устойчивости обследуемых.

Ключевые слова: координационные способности, студентки, стабилметрия, постуральная функция, тренинг на основе БОС, бадминтон.

ВВЕДЕНИЕ

Современный образ жизни неуклонно приводит к ограничению повседневной двигательной активности студенческой молодежи и является одной из причин снижения функциональных возможностей организма и ухудшения состояния здоровья в целом, что создает серьезную проблему в осуществлении полноценного физического воспитания студентов. Кроме того, недостаточная физическая подготовленность и низкая мотивация обучающихся диктуют необходимость поиска новых технологий, позволяющих оптимизировать образовательный процесс [1]. Накопленная теоретическая база и практический опыт свидетельствуют о повышении эффективности физического воспитания путем использования спортивных игр [2]. В этой связи, бадминтон является одним из востребованных видов спорта среди студентов в силу своей зрелищности и доступности. В то же время он оказывает разностороннее воздействие на организм человека и развивает основные двигательные качества [3]. Успешность в бадминтоне напрямую зависит от состояния общих координационных способностей занимающихся, которые в возрасте 18–20 лет у человека уже сформированы, и если их уровень не достаточно высокий, то начальный этап обучения часто сопровождается трудностями в освоении технических приемов игры [4, 5]. Не менее важно, что общие координационные способности составляют основу для дальнейшего развития специфических координационных способностей, оказывают влияние на физический статус индивидуума и являются жизненно необходимыми [4, 6]. Поэтому их формирование и совершенствование, в

том числе средствами бадминтона, на занятиях по физической культуре направлено на решение оздоровительных и образовательных задач [3].

Согласно исследованиям, проведенным А. С. Мартыновой, наиболее значимыми в бадминтоне видами координационных способностей являются: реагирующая, ориентация в пространстве, кинестетическая и способность к сохранению равновесия [4]. Причем, в зависимости от выполнения тех или иных приемов игры, их весомость может варьировать. Например, при выполнении подач важную роль играют последние три вышеперечисленных качества.

Таким образом, с одной стороны, бадминтон может выступать эффективным средством развития общей координации человека, с другой стороны, целенаправленная тренировка определенных координационных проявлений способствует оптимизации освоения многих технических приемов игры. Учитывая, что начальный этап обучения является фундаментом дальнейшего совершенствования в бадминтоне и напрямую зависит от уровня, зачастую крайне низкого, базовых координационных способностей, возникает необходимость поиска дополнительных воздействий, улучшающих эти способности. Одним из вариантов решения данной проблемы может стать сочетание педагогических приемов с современными медико-биологическими технологиями, например, тренингом в режиме биологической обратной связи (БОС).

Цель данной работы – выявить эффективность тренировки постуральной функции на основе БОС в развитии и совершенствовании общих и специфических координационных способностей студенток университета, занимающихся бадминтоном.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, которое проводилось в Крымском федеральном университете им. В. И. Вернадского, принимали участие 19 студенток в возрасте 18–20 лет основной и подготовительной группы здоровья. Из них было сформировано две группы. В первую (1) вошли 9 девушек, во вторую (2) 10. В рамках реализации элективных дисциплин по физической культуре и спорту в объеме не менее 328 часов, согласно требованиям ФГОС ВО 3+ бакалавриата, с начала нового учебного года обучающиеся приступили к учебно-спортивным занятиям по бадминтону, которым ранее не занимались. Занятия продолжительностью 90 мин проходили 2 раза в неделю, имели традиционную структуру: подготовительную, основную и заключительную часть и состояли из блоков по освоению теоретической базы, общему оздоровлению организма, развитию двигательных качеств, освоению технических и тактических приемов игры в бадминтон. Первый учебный модуль предполагал освоение начальных элементов техники: хвата ракетки, стоек, подач. Эксперимент проходил на протяжении 10 занятий, включающих задачи по обучению студенток подачам в бадминтоне. В подготовительной и основной части использовались блоки упражнений, соответствующие возрасту и уровню подготовленности занимающихся, для развития общих и специфических координационных способностей. Дополнительно студентки 2 группы для улучшения способности к сохранению равновесия прошли курс из 10 тренировок в режиме БОС на стабилметрической платформе ST-150 с программным обеспечением STPL (ООО Мера-ТСП, г. Москва) [7, 8]. Тренировка представляла

двигательно-когнитивный тест, реализованный в виде динамической пробы, когда испытуемому предлагалось в течение 5 минут смещать метку на экране монитора, связанную с проекцией центра давления на стабилометрическую платформу в соответствии с программой, заданной на экране монитора [7]. Девушки тренировались во внеучебное время в дни, не совпадающие с занятиями по физическому воспитанию.

До и после эксперимента изучались показатели, характеризующие общие и специфические координационные способности студенток. Общие оценивались в пробах: «ловля линейки», (см); точность воспроизведения амплитуды движения руки при помощи кинематометра М. И. Жуковского, (град); пяточно-носочная проба Ромберга, (сек); «попадание в цель мячом», (кол-во раз из 5 попыток). Специфические координационные способности регистрировались в тестах: жонглирование воланом на месте, (кол-во раз); точность воспроизведения перемещения ракетки на заданное расстояние, (см); удержание равновесия в стойке для подачи, (сек); тест «попадание в цель» воланом, (кол-во раз из 5 попыток) [4, 6, 9]. Результативность коротких подач открытой и закрытой стороной ракетки и высоких подач определялась количеством точных попаданий из 5 возможных попыток в заданные зоны площадки.

Также оценивались показатели статокнезиограммы: длина (L_0 , мм), площадь (S_0 , мм²), работа по перемещению общего центра давления (ОЦД) в плоскости опоры (A_0 , Дж), коэффициент Ромберга (усл. ед.). С этой целью у девушек с использованием стабилометрической платформы была проведена постуральная проба (проба Ромберга), после неё двигательльно-когнитивная динамическая проба и снова проба Ромберга [7, 8]. Исследование было выполнено в соответствии с нормами Хельсинкской декларации 2000 г.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием пакета программ OriginPro 9.1. Нормальность распределения показателей проверяли по критерию Шапиро–Уилка ($n \leq 50$). Для проверки статистических гипотез в случае нормального распределения при сравнении зависимых и независимых выборок использовался параметрический t-критерий Стьюдента. При распределении, отличном от нормального, применялись непараметрические методы: для взаимосвязанных совокупностей выбирался парный критерий Вилкоксона, между группами с независимыми вариантами применялся U критерий Манна-Уитни. Результаты непараметрических методов обработки данных представлялись в виде медианы, первого и третьего квартилей (Md ($Q1$; $Q3$)), параметрических – как среднее арифметическое значение и его стандартная ошибка ($M \pm m$). Критический уровень значимости (p) для всех проверяемых статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты первичного обследования студенток 1 и 2 группы, представленные в табл. 1, указывали на отсутствие межгрупповых различий изучаемых показателей и свидетельствовали, что уровень их общих и специфических координационных способностей соответствовал средним и низким значениям [4, 6, 9]. Точность

выполнения подач также была невысокой, в зависимости от варианта подачи результативность в среднем варьировала от 1,4 раз до 2,2 раз из 5 возможных попыток. Анализ показателей стабилметрических проб с открытыми глазами также не выявил статистически значимых отличий у студенток двух групп (табл. 2). В пробе с закрытыми глазами средние значения параметров изменялись однонаправленно у всех испытуемых, что проявилось приростом длины стакинезиограммы от 50 до 75 % ($p < 0,01$), площади от 23 до 35 % ($p < 0,05$), работы по перемещению ОЦД в плоскости опоры более чем на 130 % ($p < 0,05$) в обеих группах. Данный факт свидетельствовал о возрастании проделанной работы и энергозатрат для поддержания постурального баланса опорно-двигательным аппаратом в условиях отсутствия визуального контроля.

После окончания эксперимента у девушек 1 и 2 группы наблюдались изменения большинства изучаемых показателей, что отображено в табл.1. Так, заметно улучшились параметры, характеризующие общие координационные способности: реагирующая увеличилась более чем на 15 %, кинестетическая повысилась на 20–22 %, способность к поддержанию равновесия возросла на 33 % в 1 группе и на 56 % во второй. Повторное тестирование способности к ориентации в пространстве демонстрировало прирост результатов на 33 и 67 % в 1 и 2 группе, соответственно.

На фоне заметного совершенствования общих координационных способностей занимающихся было отмечено улучшение их специфических способностей. Студентки приобрели навык жонглирования воланом, который в дальнейшем целесообразно использовать, как подводящее упражнение к освоению многих технических приемов в бадминтоне (табл. 1). Показатель жонглирования увеличился на 100 % и 138 %. Специфическая способность к удержанию статического равновесия возросла в двух группах занимающихся: на 13 % в 1 и на 38 % во 2 группе. Как следствие, увеличилась точность и стабильность выполнения других технических приемов и контрольных упражнений. В тесте «попадание в цель» воланом точность повысилась на 50 % и 100 %, что сформировало необходимую базу для успешного освоения техники подач в бадминтоне, результативность которых возросла в 2,7–3,6 раза ($p < 0,001$).

Вместе с тем, обращает внимание факт статистически значимых межгрупповых различий ряда изучаемых показателей, что представлено в табл. 1. Например, у девушек 2 группы показатели пяточно-носочной пробы на 23 % ($p < 0,05$) превышали аналогичные в 1 группе. Динамика изменений специфических координационных способностей обследуемых также имела свои особенности. Прирост показателей реагирующей способности, удержания равновесия и ориентации в пространстве студенток 2 группы демонстрировал отклонение в сторону более высоких значений по сравнению с первой. В упражнении жонглирования воланом разница результатов составила 19 %. Улучшение показателя, отражающего способность к сохранению равновесия в стойке для подачи, у девушек 2 группы на 25 % превышало динамику в 1 группе. Подобное отличие в 25 % было отмечено при анализе результатов попадания воланами в цель.

Таблица 1

Показатели общих и специфических координационных способностей студенток 1 и 2 группы до и после эксперимента

Исследуемые показатели	1 группа (n=9)		2 группа (n=10)		p ₃₋₅
	до	после	до	после	
1	2	3	4	5	6
Общие координационные способности					
Общая реагирующая способность					
Тест «Ловля линейки», см	16,1±0,7	13,4±0,7	15,3±0,7	13,0±0,6	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,05	
Общая кинестетическая способность					
Точность воспроизведения амплитуды движения руки, град.	10,0 (9,0; 11,0)	8,0 (6,0; 8,0)	10,8±0,6	8,4±0,6	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,01		<0,05	
Общая способность к сохранению равновесия					
Пяточно-носочная проба, сек	12,9±1,1	17,2±0,7	13,3±0,7	20,7±1,4	<0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,001	
Общая способность к ориентации в пространстве					
Тест «попадание в цель мячом», кол-во раз	3,0 (2,5; 3,5)	4,0 (4,0; 4,5)	3,0 (2,0; 3,25)	5,0 (4; 5)	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,02		<0,001	
Специфические координационные способности					
Специфическая реагирующая способность					
Жонглирование воланом, кол-во раз	4,0 (3,0; 4,5)	8,0 (6,5; 9,0)	4,0 (4,0; 5,0)	9,5 (8,75; 10)	<0,01
		<0,01		<0,01	
Специфическая кинестетическая способность					
Точность воспроизведения перемещения ракетки, см	20,6±2,1	15,0±0,8	19,5±2,2	14,0±1,5	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,05	
Специфическая способность к сохранению равновесия					
Удержание равновесия в стойке для подачи, с	11,6±0,6	13,1±0,5	12,0±0,3	16,5±0,6	<0,001
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,001	
Специфическая способность к ориентации в пространстве					
Тест «попадание в цель» воланом, кол-во раз	2,0 (2,0; 3,0)	3,0 (3,0; 4,0)	2,0 (1,75; 3,25)	4,0 (4,0; 5,0)	<0,04
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,01		<0,01	

Текущий контроль на данном этапе обучения предполагал проверку точности и правильности выполнения подач занимающимися в заданные зоны. Точность определялась количеством попаданий, правильность оценивалась по соответствию общепринятым кинематическим характеристикам данного приема. Все девушки, в большей или меньшей степени, продемонстрировали владение основными элементами техники выполнения коротких и высоких подач, умение осуществить подачу в заданные зоны. Однако результативность, показанная студентками 1 и 2 группы, отличалась в зависимости от вида подачи. Количество точных попаданий в каждую зону варьировало от 2 до 5, однако более высокий результат продемонстрировали девушки 2 группы при выполнении коротких подач как открытой, так и закрытой стороной ракетки. Так, их успешность в контрольном упражнении в ближнюю зону была выше на 33 % ($p < 0,01$) открытой стороной и на 30 % ($p < 0,001$) закрытой стороной ракетки. Следует отметить, что при повторном тестировании на точность высоких подач результаты не показали статистически значимых межгрупповых отличий.

Повторное стабилметрическое тестирование студенток 1 и 2 группы в целом указало на однонаправленную динамику большинства изучаемых показателей, что отражено в табл. 2. Уменьшилась длина и площадь стабилограммы от 11 % у девушек 1 группы до 54 % у представительниц 2 группы. У студенток, тренировавшихся в режиме БОС, энергозатраты по перемещению общего центра давления (ОЦД) в плоскости опоры в пробах с открытыми и закрытыми глазами сократились на 33–34 %. Вместе с тем, были обнаружены межгрупповые различия по ряду параметров. При оценке результатов пробы Ромберга в фазе с открытыми глазами более значимое уменьшение на 41 % площади статокинезиограммы у испытуемых 2 группы может быть объяснено эффектом возрастания постуральной устойчивости после динамических тренировок с визуализацией перемещения центра давления на экране монитора. Изменение фоновых значений коэффициента Ромберга в сторону снижения составило в 1 группе 25 %, во 2 группе 42 %, что свидетельствовало об уменьшении роли зрения в поддержании постурального баланса в основной стойке после окончания эксперимента. Возможно, более выраженная динамика данного показателя у студенток, тренировавшихся в режиме БОС, объясняется перераспределением вектора влияния в контроле баланса в сторону проприорецепции от его визуальной составляющей. В свою очередь это привело к снижению энергозатрат и выразилось в уменьшении показателя работы по перемещению общего центра давления (ОЦД) в плоскости опоры.

С учетом вышеизложенного можно заключить, что после окончания эксперимента у студенток 1 и 2 группы различались показатели, в большей или меньшей степени детерминированные способностью к сохранению равновесия и ориентации в пространстве. Следовательно, под влиянием тренинга, проходившего в режиме БОС, у 10 студенток 2 группы произошло дополнительное стимулирование проприоцептивных и вестибулярных механизмов, которые в процессе совершенствования общей и специфической координации, способствовали более эффективному освоению технических приемов в бадминтоне.

Таблица 2

Показатели статокинезиограммы студенток 1 и 2 группы до и после эксперимента

Исследуемые показатели	1 группа		2 группа		p ₃₋₅
	до	после	до	после	
1	2	3	4	5	6
Показатели статокинезиограммы с открытыми глазами					
Длина (L ₀), мм	205,1 ±12,6	182,8 ±13,1	196,6 ±14,1	158,1 ±12,5	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		>0,05		<0,05	
Площадь (S ₀), мм ²	110,0 ±12,0	80,2 ±8,6	101,4 ±8,7	47,0 ±4,1	
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,001	
Работа по перемещению ОЦД (A ₀), Дж	0,81 (0,6; 1,68)	0,62 (0,48; 0,96)	0,96 ±0,13	0,64 ±0,08	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		>0,05		<0,05	
Показатели статокинезиограммы с закрытыми глазами					
Длина (L ₀), мм	307 (265; 329)	226 (180; 258)	337,5 ±32,2	256,9 ±21,7	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,01		<0,05	
Площадь (S ₀), мм ²	168 (136; 203)	111 (91; 152)	172 (162; 183)	82 (61; 135)	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,05	
Работа по перемещению ОЦД (A ₀), Дж	2,18 ±0,29	1,74 ±0,15	2,22 ±0,31	1,46 ±0,21	>0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		>0,05		<0,05	
Коэффициент Ромберга (усл. ед.)	267,3 ±27,1	201,2 ±16,6	268,8 ±37,3	156,1 ±14,1	<0,05
p ₂₋₃ ; p ₄₋₅		<0,05		<0,001	

Данный факт может найти свое объяснение в том, что характер двигательной деятельности человека во многом определяется способностью сохранять и удерживать равновесие. Система контроля положения тела человека в пространстве сложно организована и включают несколько уровней регуляции, где основными являются проприоцептивный, вестибулярный и зрительный анализатор [8, 10, 11]. У тренированных лиц, конечно с учетом вида спорта, ведущая роль в поддержании статического и динамического равновесия принадлежит проприорецепции, тогда как у нетренированных определяющее значение отводится зрительному анализатору [11]. Систематическое выполнение любых организованных двигательных действий (ходьба, бег, прыжки, метания и т.д.) способствуют

тренировке механизмов сохранения статокINETической устойчивости [6, 8, 10]. Поэтому не вызывает сомнения, что, благодаря применению блоков специальных упражнений в ходе занятий постепенно совершенствовались функции поддержания статического и динамического равновесия, а также его специфические и неспецифические проявления. Вполне вероятно возможность формирования нового уровня взаимоотношений систем, регулирующих статокINETическую устойчивость.

Свое объяснение находит и более выраженная динамика улучшения общей и специфической способности поддержания равновесия у студенток 2 группы. Тренинг по обучению воспроизведения движениями центра тяжести тела по заданным траекториям с использованием стабилметрической платформы, очевидно, сопровождался дополнительной активацией позно-тонических и статокINETических рефлексов и привел к совершенствованию механизмов, участвующих в пространственной навигации [8, 10]. Вызывает интерес, что у представителей «ситуационных» видов спорта, к которым относятся и бадминтонисты, данная функция более совершенна по сравнению со спортсменами других специализаций [11]. Бадминтон предполагает визуальную зависимость игрока по отношению к полету волана, действиям соперника на площадке. У начинающих игроков необходимость визуально контролировать волан присутствует постоянно и не всегда обоснованно, конфликтуя с необходимостью следить за движениями соперника. С опытом бадминтонист развивает способность быстрее отводить свой взгляд от волана, чтобы оперативно оценить игровую ситуацию. Поэтому усиление проприоцептивных влияний в сохранении постурального баланса можно считать позитивным приобретением занимающихся на начальном этапе обучения бадминтону и одним из факторов успешного освоения техники подачи.

Таким образом, полученные результаты указывают на возможность коррекции межсистемных взаимодействий в регуляции постуральной устойчивости у девушек 18–20 лет посредством тренинга с БОС по стабилметрическим параметрам. Использование стабилметрических БОС технологий позволило оптимизировать процессы освоения техники выполнения подач и совершенствования общих и специфических координационных способностей студенток, занимающихся бадминтоном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

6. Результаты первичного обследования студенток 18–20 лет, начинающих заниматься бадминтоном, свидетельствовали о низком и среднем уровне их общих и специфических координационных способностей. Анализ показателей стабилметрических проб выявил выраженное преобладание вклада зрительного анализатора над проприоцептивным в поддержании равновесия.
7. Занятия бадминтоном, включающие блоки специальных упражнений, способствовали развитию и совершенствованию общих и специфических координационных способностей обследуемых. Показатели общей реагирующей способности у девушек 1 и 2 группы увеличились более чем на 15 % ($p < 0,05$), кинестетической на 22 % и 26 % ($p < 0,01$; $p < 0,05$), поддержания равновесия на 33 % ($p < 0,05$) и 56 % ($p < 0,001$), ориентации в пространстве на 33 ($p < 0,02$) и

67 % ($p < 0,001$). На фоне улучшения общих, повысились специфические координационные способности студенток. Показатели реагирующей способности в тесте жонглирования воланом возросли на 100 % и 138 % ($p < 0,01$), время сохранения равновесия увеличилось на 13 % ($p < 0,05$) и 38 % ($p < 0,001$), точность в тесте «попадание в цель» воланом повысилась на 50 % и 100 %, ($p < 0,01$), в 1 и во 2 группе, соответственно. Это сформировало необходимую базу для успешного освоения техники подач в бадминтоне, результативность которых возросла в 2,7–3,6 раза ($p < 0,001$).

8. Результаты повторного стабилметрического тестирования продемонстрировали улучшение функции равновесия у всех студенток. Уменьшилась длина и площадь стабิโลграммы, энергозатраты по перемещению общего центра давления (ОЦД) в плоскости опоры в пробах с открытыми и закрытыми глазами, снизилось значение коэффициента Ромберга, что указывало на перераспределение влияний в контроле постурального баланса в сторону проприорецепции от его визуальной составляющей.
9. Исследование показало, что курс тренировок постуральной функции на основе БОС способствовал более значимой динамике показателей общей и специфической способности к удержанию равновесия, специфической способности к ориентации в пространстве и результативности выполнения подач у студенток 2 группы по сравнению с 1 группой. Также у них было отмечено более выраженное на 17 % ($p < 0,05$) уменьшение величины коэффициента Ромберга, что свидетельствовало о повышении роли двигательного анализатора в поддержании статокинетической устойчивости и снижении влияния зрения в контроле постурального баланса.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Центра коллективного пользования «Экспериментальная физиология и биофизика» за помощь в организации исследования»

Список литературы

1. Губа В. П. Технология оценки здоровья студентов государственных вузов Центрального федерального округа Российской Федерации / В. П. Губа, В. Н. Егоров, Е. Д. Грязева // Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт. Вып. 1. Тула: Изд-во ТулГУ. – 2016. – С. 29–36.
2. Заплата Н. Ю. Спортивные и подвижные игры в физическом воспитании студентов / Н. Ю. Заплата, Н. В. Скорик // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2015. – №10 (128). – С. 66–68.
3. Турманидзе В. Г. Бадминтон на этапе начальной подготовки в вузах: учебное пособие / В. Г. Турманидзе. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та. – 2008. – 72 с.
4. Мартынова А. С. Совершенствование методики развития координационных способностей бадминтонистов на этапе начальной подготовки: автореф. дис. ... канд. пед. наук : спец. 13.00.04 «теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры» / А. С. Мартынова. – Набережные Челны, 2012. – 22 с.
5. Смирнов Ю. Н. Бадминтон: учебник для студентов вузов по направлению 032100. 2-е изд., исправ. и доп. / Ю. Н. Смирнов. – М. Советский спорт, 2011. – 248 с.

6. Лях В. И. Координационные способности: диагностика и развитие / В. И. Лях. – М.: ТВТ Дивизион, 2006. – 290 с.
7. Кубряк О. В. Практическая стабилметрия. Статические двигательные-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции / О. В. Кубряк, С. С. Гороховский. – М.: ООО «ИПЦ «Маска»», 2012. – 88 с.
8. Скворцов Д. В. Стабилметрическое исследование / Д. В. Скворцов. – М.: ООО «ИПЦ «Маска»», 2010. – 176 с.
9. Романенко В. А. Диагностика двигательных способностей. Учебное пособие / В. А. Романенко. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2005. – 290 с.
10. Lesinski M. Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis / M. Lesinski, T. Hortobagyi, T. Muehlbauer [et al.]. // London: Sports Med. – 2015. – Vol. 45. – P. 557–576.
11. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance / C. Hrysomallis // London: Sports Med. – 2011. – Vol. 41. – P. 221–232.

EFFICIENCY OF BIOFEEDBACK (BFB) TRAINING IN IMPROVING THE COORDINATION ABILITIES OF STUDENTS PRACTICING BADMINTON

Safronova N. S., Nagaeva E. I., Safronova P. S.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: nine195@rambler.ru*

One of the actual problems of physical education of students is the low level of their physical condition and health in general. An important role in the formation of a full physical status of an individual is played by coordination abilities that are considered vital for a person. However, with their low entry-level, the use of traditional educational means not always effective. Therefore, a combination of pedagogical methods with modern medical and biological technologies can be a variant of solving this problem. The objective of this work is to reveal the effects of Visual Feedback (BFB) Training postural function in developing and improving the basic and specific coordination abilities of university students engaged in badminton.

Two groups of female university students of 18–20 years who started to practice badminton within the framework of the discipline "physical culture" were examined. The Group 1 included 9 girls, the Group 2 included 10. The experiment was conducted during 10 lessons lasting 90 minutes and included tasks to train badminton service, development of basic and specific coordination abilities. During the extra-curricular time, for the improvement of the ability to maintain balance, the students of the 2nd group underwent a course of 10 training in the form of a Visual motor-cognitive dynamic test in the BFB mode on the ST-150 stabilometric platform using the STPL software. The indicators characterizing the basic and specific coordination abilities of female students were studied: reacting ability, spatial orientation, kinesthetic and ability to balance. The effectiveness of the service and the parameters of the statokinesiogram were evaluated. For intergroup analyses, an independent t test and Mann-Whitney test were used. For comparative analysis, the Wilcoxon test was used. Statistically significant changes in the indices at the level $p < 0,05$ were considered.

The results of the study showed that the course of badminton lessons, including blocks of special balance exercises, contributed to the development and improvement of the basic and specific coordination abilities of the participants. The parameters of the basic reacting ability in girls of Groups 1 and 2 increased by more than 15 % ($p < 0,05$), kinesthetic by 22 % and 26 % ($p < 0,01$, $p < 0,05$), balance a 33 % ($p < 0,05$) and 56 % ($p < 0,001$), spatial orientation by 33 % ($p < 0,02$) and 67 % ($p < 0,001$). The indices of specific reacting ability increased by 100 % and 138 % ($p < 0,01$), balance by 13 % ($p < 0,05$) and 38 % ($p < 0,001$), the spatial orientation was increased by 50 % and 100 %, ($p < 0,01$), in Groups 1 and 2, respectively. This formed the necessary basis for the successful development of the technique of the service, the effectiveness of which increased 2.7–3.6 times ($p < 0,001$). Stabilometric testing demonstrated an improvement in the balance function for all students. The length (L) and square (S) of the stabilogram decreased, the amount of work (A) done to move the common pressure center in the plane of support in the tests with open and closed eyes.

The study showed that the postural function Visual Feedback Training course contributed to a more significant dynamics of indicators of the basic and specific ability to balance, spatial orientation and the effectiveness of performing services in students of Group 2 compared to 1. The decrease in the Romberg coefficient was also more pronounced in them, which indicated an increase in the role of the Proprioceptive inputs and reducing the influence of Visual information in controlling the postural balance. Thus, the use of the biofeedback stabilometric technologies allows to optimize the processes of improving basic and specific coordination abilities and mastering the technique of badminton services, which can be recommended for further application in the elementary stages of training.

Keywords: Coordination abilities, Balance, Stabilometry, Biofeedback (BFB) training, Badminton

References

1. Guba V. P., Egorov V. N., Gryazeva E. D., Tekhnologiya ocenki zdorov'ya studentov gosudarstvennyh vuzov Central'nogo federal'nogo okruga Rossijskoj Federacii, *Izvestiya TulGU. Fizicheskaya kul'tura. Sport*, **1**, 29 (2016).
2. Zaplatina N. YU., Skorik N. V., Sportivnye i podvizhnye igry v fizicheskom vospitanii studentov, *Uchenye zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta*, **10**, 66 (2015).
3. Turmanidze V. G., *Badminton na ehtape nachal'noj podgotovki v vuzah: uchebnoe posobie*, 72 p. (Omsk: Izd-vo Om. gos. un-ta, 2008).
4. Martynova A. S., *Sovershenstvovanie metodiki razvitiya koordinacionnyh sposobnostej badmintonistov na ehtape nachal'noj podgotovki*, 22 p. (Naberezhnye CHelny, 2012).
5. Smirnov YU. N., *Badminton: uchebnyk dlya studentov vuzov po napravleniyu 032100. 2-e izd., isprav. i dop.*, 248 p. (M.: Sovetskij sport, 2011).
6. Lyah V. I., *Koordinacionnye sposobnosti: diagnostika i razvitie*, 290 p. (M.: TVT Divizion, 2006)
7. Kubryak O. V., Gorohovskiy S. S., *Prakticheskaya stabilometriya. Sticheskie dvigatelno- kognitivnyie testyi s biologicheskoy obratnoy svyazyu po opornoy reaktcii*, 88 p. (Moskva, IPC Maska, 2012).
8. Skvortsov D. V., *Stabilometricheskoe issledovanie*, 176 p. (Moskva, IPC Maska, 2010).
9. Romanenko V. A., *Diagnostika dvigatel'nyh sposobnostej. Uchebnoe posobie*, 290 p. (Doneck: Izd-vo DonNU, 2005).
10. Lesinski M., Hortobagyi T., Muehlbauer T. [et al.], Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis, *London: Sports Med.*, **45**, 557 (2015).
11. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance, *London: Sports Med.*, **41**, 221 (2011).

УДК 578.4(262.5)

**МОНИТОРИНГ АЛЬГОВИРУСОВ ИНДИКАТОРНЫХ К ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
СИТУАЦИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *TETRASELMIS VIRIDIS* И
PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ
(2002–2018 ГГ.)**

Степанова О. А.

Институт природно-технических систем, Севастополь, Республика Крым, Россия
E-mail: solar-ua@ya.ru

Выполнен анализ частоты изоляции альговирусов индикаторных к экологическому благополучию микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum* из трех бухт Севастополя за период 2002–2018 гг. Полученные результаты свидетельствуют, что частота изоляции альговируса устойчивой к экологическим факторам микроводоросли *Tetraselmis viridis* наблюдалась в пределах от 54–52 % (2002–2003 и 2015 гг.) до 3–0 % (2007–2009 гг.). Для альговируса требовательной к условиям среды микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum* частота изоляции колебалась от 53–45 % (2008, 2018 гг.) до 0 % (2015 г.).

На основании полученных данных с учетом требовательности к условиям среды обитания или устойчивости к неблагоприятным экологическим факторам хозяев альговирусов логично предположить экологическое благополучие в изучаемых акваториях в 2008 г. (максимум частоты изоляции альговируса *Phaeodactylum tricornutum*) и неблагоприятие в 2015 г. (минимум частоты изоляции альговируса *Phaeodactylum tricornutum*).

Ключевые слова: альговирусы, индикаторы экологического благополучия – микроводоросли *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum*, бухты Севастополя, экологическое благополучие акватории Севастополя.

ВВЕДЕНИЕ

Морские вирусы среди гидробионтов наименее изучены, однако, по мнению ученых, они являются главными игроками в глобальной экологии [1]. Среди морских вирусов наибольший интерес у ученых вызывают альговирусы – вирусы микроводорослей, роль которых в экологии нашей Планеты сложно переоценить. Мониторинг черноморских альговирусов в бухтах Севастополя, в т.ч. альговирусов микроводорослей *Tetraselmis viridis* и *Phaeodactylum tricornutum*, часто используемых в качестве индикаторов для оценки экологической ситуации в акваториях [2–5], проводится с мая 2002 г.

До 2014 г. поиск черноморских альговирусов выполнялся на базе Института биологии южных морей – ИнБЮМ (ныне Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского – ИМБИ). С 2015 г. работы были продолжены в Институте природно-технических систем (г. Севастополь). За период с мая 2002 г. по май 2018 г. из разных проб (морской воды и гидробионтов) с помощью

запатентованных авторских методик [6, 7] было изолировано около 300 штаммов новых для науки альговирусов морских микроводорослей *T.viridis*, *Dunaliella viridis*, *P.tricornutum*, *Prorocentrum pusillum*, *Isochrysis galbana*, *Tisochrysis lutea*. Также были выделены новые для экосистемы Черного моря штаммы альговируса микроводоросли *Emiliania huxleyi* и цианофага к культуре цианобактерии *Synechococcus*. Основные сведения об изоляции черноморских альговирусов и их свойствах отражены в [8–10].

Первые результаты по анализу частоты изоляции альговирусов микроводорослей *T.viridis* (TvV) и *P.tricornutum* (PtV) из разных по экологическому благополучию бухт Севастополя были представлены в [11]. Полученные данные свидетельствовали о преобладании в закрытой и экологически неблагоприятной Артиллерийской бухте, входящей в состав Севастопольской бухты, альговирусов устойчивой к неблагоприятным экологическим факторам микроводоросли *T.viridis*. И, наоборот, в открытой Песочной бухте преобладали вирусы требовательной к условиям среды микроводоросли *P.tricornutum*. Таким образом, по нашему мнению, логично утверждать, что изоляция альговирусов из акваторий позволяет получить информацию не только об экологии (сезонность, географическое распространение, динамика распределения) хозяев (микроводорослей), но и об экологическом благополучии изучаемых бухт, в случае поиска вирусов, хозяева которых являются индикаторными по отношению к экологической ситуации.

С целью оценки изменения экологического благополучия изучаемых акваторий на протяжении 2002–2018 гг. выполнен анализ частоты изоляции альговирусов устойчивой к факторам среды микроводоросли *T.viridis* и требовательной *P.tricornutum* в трех бухтах Севастополя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск и изоляцию альговирусов проводили из проб морской воды, которые в 2002–2018 гг. с разной степенью регулярности отбирали из трех бухт Севастополя, отличающихся по экологическому благополучию – открытой Карантинной, закрытой Мартыновой, где размещена мидийная ферма, и экологически неблагоприятной, подвергающейся антропогенной нагрузке Артиллерийской (рис. 1).

Отбор проб морской воды не проводили в 2004, 2013 и 2014 гг., т.к. в эти годы выполнялись поиск, изоляция и изучение других новых для науки или экосистемы Черного моря альговирусов [8, 9].

Исследования проводили в разных по экологическому статусу бухтах – открытой, закрытой с мидийной фермой и закрытой, подвергающейся антропогенному загрязнению, – для получения усредненных данных ситуации относительно акватории побережья Севастополя, логично предполагая, что выявленные данные можно будет экстраполировать и на побережья Крыма, интерпретируя их в качестве обобщенных фоновых наблюдений.

Поиск и изоляцию альговирусов выполняли с использованием простых, легко воспроизводимых, разработанных и запатентованных авторских способов [6, 7], методика которых описана в наших опубликованных работах [8, 9, 11].

Для изоляции альговирусов использовали жидкие культуры микроводорослей *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen, R.E. Norris, Hori & Chihara, 1980) и *Phaeodactylum tricorutum* (Bohlin, 1897). Культуры были получены из коллекции микроводорослей отдела экологической физиологии водорослей ИнБЮМ (ныне ИМБИ) и поддерживались в стабилизирующей питательной среде Гольдберга.

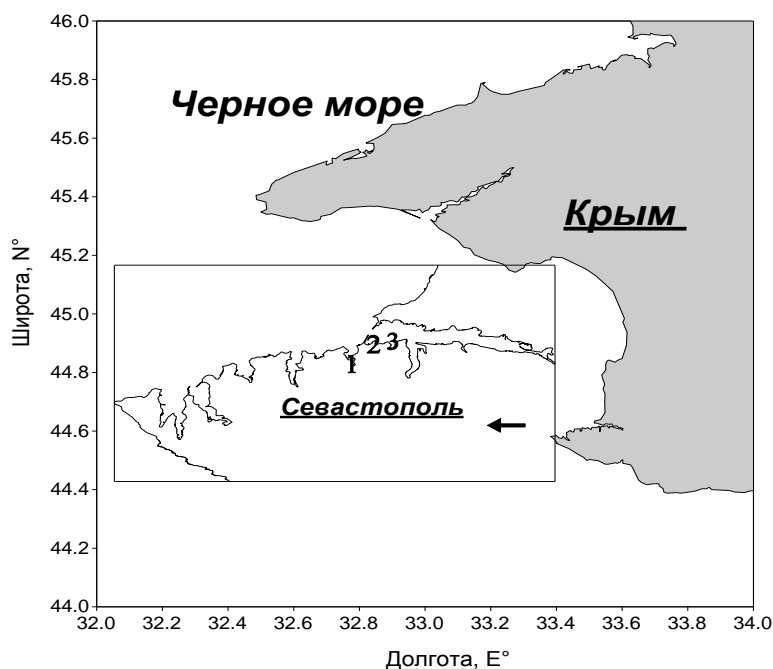


Рис. 1. Схема станций отбора проб морской воды в бухтах Севастополя: Карантинной (1), Мартыновой (2) и Артиллерийской (3).

Поскольку для каждого нового изолята альговирусов микроводорослей *T.viridis* (TvV) и *P.tricorutum* (PtV) фиксируются иные пространственно-временные параметры их поиска и выделения, то и каждый вирусный изолят обозначен как вирусный штамм или вирусный вариант.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Частота изоляции альговирусов двух видов микроводорослей – *T. viridis* (TvV) и *P.tricorutum* (PtV) из трех отличающихся по экологическому благополучию бухт Севастополя за период 2002–2018 гг., выражаемая в процентах по отношению к числу изученных проб морской воды, представлена в таблице 1, а также в виде графиков и диаграмм на Рис. 2.

Как можно видеть из данных, отраженных в таблице 1, всего из 269 проб морской воды было изолировано 109 альговирусов, из которых 48 штаммов альговируса микроводоросли *T.viridis* и 61 штамм альговируса микроводоросли

P. tricornutum. Таким образом, в среднем за весь изучаемый период частота изоляции для TvV составила 18 %, а для PtV – 23 %. Полученные усредненные показатели имеют незначительные различия и свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга альговирuсов, хозяевами которых являются индикаторные в отношении экологической ситуации микроводоросли.

Таблица 1
Сравнительные результаты изоляции альговирuсов *Tetraselmis viridis* (TvV) и *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) из проб морской воды трех бухт Севастополя (Карантинная, Мартынова, Артиллерийская) в период с мая 2002 по май 2018 гг.

Количество проб и вирусoв, % изоляции	Временные периоды (годы)						
	2002–2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Количество проб воды	13	23	9	14	31	30	22
Число изолятов TvV/ PtV	7/3	4/5	4/1	-/2	1/14	1/4	2/3
% изоляции из проб TvV/ PtV	54 % / 23 %	17 % / 22 %	44 % / 11 %	0 % / 14 %	3 % / 45 %	3 % / 13 %	9 % / 14 %
Количество проб и вирусoв, % изоляции	Временные периоды (годы)						Итого
	2011	2012	2015	2016	2017	2018 (I-V)	
Количество проб воды	15	21	25	21	30	15	269
Число изолятов TvV/ PtV	1/2	2/5	13/-	8/3	3/11	2/8	48 / 61
% изоляции из проб TvV/ PtV	7 % / 13 %	10 % / 24 %	52 % / 0 %	38 % / 14 %	11 % / 41 %	13 % / 53 %	18 % / 23 %

Примечание: знак « - » обозначает отсутствие изолятов (штаммов) альговирuсов при изучении проб морской воды.

Частота изоляции альговирuсов микроводорослей *T.viridis* и *P.tricornutum* в разные периоды на протяжении 2002–2018 гг. значительно менялась, наблюдаясь в пределах от 54–52 % (2002–2003 и 2015 гг.) до 3–0 % (2007–2009 гг.) у TvV, и от 53–45 % (2008, 2018 гг.) до 0 % (2015 г.) у PtV.



А.



Б.

Рис. 2. Изменения частоты изоляции альговирусов микроводорослей *Tetrasetmis viridis* (TvV) и *Phaeodactylum tricornutum* (PtV) из проб морской воды трех бухт Севастополя (Карантинная, Мартынова, Артиллерийская) в период с мая 2002 по май 2018 гг. в виде графиков (А.) и диаграмм (Б.).

По нашему мнению, логично утверждать, что зафиксированные изменения в частоте изоляции альговирусов являются отражением изменений в ситуации с их хозяевами – микроводорослями *T.viridis* и *P.tricornutum*, чутко реагирующими на условия среды обитания (Дятлов, Петросян, 2001; Кузьминова, 2004; Маркина, Айздайчер, 2006; Round, 1965). Таким образом, изменения в частоте изоляции альговирусов *T.viridis* и *P.tricornutum* сигнализируют об изменениях экологической ситуации в изучаемых бухтах. Иными словами снижение частоты изоляции альговируса требовательной к условиям среды обитания микроводоросли *P.tricornutum* свидетельствует об ухудшении экологической ситуации, а повышение – об улучшении экологического статуса в изучаемой акватории.

На графиках (А.) и диаграммах (Б.), представленных на Рис. 1, можно видеть значительные различия в частоте изоляции альговирuсов. Так на графических линиях можно наблюдать различия в виде «ножниц» в 2002–2003, 2006, 2008, 2015 и 2018 гг., когда повышение частоты изоляции PtV относительно TvV (в 2008 и 2018 гг.) свидетельствует об экологическом благополучии, а повышение частоты изоляции TvV относительно PtV (в 2002–2003, 2006 и 2015 гг.) сигнализирует об ухудшении экологического статуса изучаемых акваторий.

Наиболее значительное отличие в частоте изоляции альговирuса микроводоросли *P.tricornutum* относительно альговирuса микроводоросли *T.viridis* можно наблюдать в 2008 и 2018 гг., когда разница составляет 42 % и 40 % соответственно.

Однако наибольшее различие между частотами изоляции этих вирuсов наблюдалось в 2015 г., когда разница составляла 52 % при 0 % изоляции для PtV. Поскольку поиск альговирuсов в 2018 г. еще будет продолжен, то особое внимание следует обратить на 2008 и 2015 гг., когда наблюдается наиболее высокая разница в частоте изоляции альговирuсов двух индикаторных в отношении экологической ситуации микроводорослей.

Таким образом, на основании полученных данных с учетом требовательности к условиям среды обитания и устойчивости к неблагоприятным экологическим факторам хозяев альговирuсов – микроводорослей – логично предположить экологическое благополучие в изучаемых акваториях у побережья Севастополя в 2008 г. и неблагополучие в 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный поиск черноморских альговирuсов индикаторных к экологическому благополучию микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* из трех бухт Севастополя в период 2002–2018 гг. и выполненный анализ полученных результатов позволили установить следующее:

1. Среднее значение частоты изоляции альговирuсов микроводорослей *T. viridis* и *P. tricornutum* за период 2002–2018 гг. составляет 18 % и 23 % соответственно, что свидетельствует о незначительной разнице в усредненных показателях их частоты изоляции.
2. Частота изоляции у альговирuса микроводоросли *T.viridis* наблюдалась в пределах от 54–52 % (2002–2003 и 2015 гг.) до 3–0 % (2007–2009 гг.) и у альговирuса микроводоросли *P.tricornutum* – от 53–45 % (2008, 2018 гг.) до 0 % (2015 г.).
3. Наиболее высокая разница в частоте изоляции альговирuсов микроводорослей *T.viridis* и *P.tricornutum* была выявлена в 2008 г. (частота изоляции 45 % для PtV и 3 % для TvV) и в 2015 г. (частота изоляции 0 % для PtV и 52 % для TvV).
4. Полученные при анализе данные с учетом требовательности к условиям среды обитания и устойчивости к неблагоприятным экологическим факторам хозяев альговирuсов свидетельствуют об экологическом благополучии в изучаемых акваториях в 2008 г. и неблагополучии в 2015 г.

Список литературы

1. Suttle C. A. Marine viruses – major players in the global ecosystem. *Nature Reviews Microbiology*. – 2007. – № 5. – P. 801–812.
2. Дятлов С. У. *Phaeodactylum tricorutum* Bohl. (Chrysophyta) как тест-объект. Общие положения / Дятлов С. У., Петросян А. Г. // Альгология. – 2001. – 11, №1. – С.145–154.
3. Кузьмина Н. С. Действие хозяйственно-бытовых сточных вод на некоторых представителей морских микроводорослей отдела *Chlorophyta* / Кузьмина Н. С. // Материалы междунар. научно-практич. конф. молодых ученых. (Киев, 25–28 февраля 2002 г.). – Киев, 2002. – С.157–158.
4. Маркина Ж. В. Содержание фотосинтетических пигментов, рост и размер клеток микроводоросли *Phaeodactylum tricorutum* при загрязнении среды медью / Маркина Ж. В., Айздайчер Н. А. // Физиология растений. – 2006. – Т.53, №3. – С. 343–347.
5. Round F. E. The biology of Algae. / Round F. E. – London: Edward Arnold., 1965. – 269 p.
6. Декл. Пат. на изобретение 65864А UA, MKU 7 C12 N 1/12. Спосіб ізоляції альговірусів одноклітинних водоростей, наприклад *Platymonas viridis* Rouch (Chlorophita) / Степанова О. А. (UA); заявник Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України (UA). № 2003065499; заявл. 13.06.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4 // Промислова власність. 2004. N 4.
7. Пат. 97293 C2 UA, МПК C12N 1/12. Спосіб ізоляції альговірусів микроводорості *Phaeodactylum tricorutum* (Bacillariophyta) з проб морської води / Степанова О. А. (UA); заявник Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України (UA). № a201003881; заявл. 06.04.2010; опубл. 25.01.2012. Бюл. 2012 № 2.
8. Степанова О. А. Мониторинг альговирюсов Чорного моря (2002-2015 гг.) / Степанова О. А. // Системи контролю оточуючої середви. – 2015. – Вып. 1 (21). – С. 103–107.
9. Степанова О. А. Черноморские альговирюсы / Степанова О. А. // Биология моря. – 2016. – Т. 42, № 2. – С. 99–103.
10. Степанова О. А. Поиск и изоляция нового альговирюса микроводоросли *Tisochrysis lutea* из экосистемы Чорного моря в бухтах Севастополя (Крымский регион) / Степанова О. А., Стельмах Л. В. // Экосистемы. – 2017. – Вып.12 (42). – С.28–34.
11. Степанова О. А. Экология аллохтонных и автохтонных вирусюв Чорного моря. / Степанова О. А. – Севастополь: Мир "ЭКСПРЕСС ПЕЧАТЬ", 2004. – 308 с.

MONITORING OF ALGAL VIRUSES OF INDICATORS TO ENVIRONMENTAL SITUATION MICROALGAE *TETRASELMIS VIRIDIS* AND *PHAEODACTYLUM TRICORNUTUM* IN SEVASTOPOL BAYS (2002–2018)

Stepanova O. A.

*Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: solar-ua@ya.ru*

The frequency of isolation of algal viruses of microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricorutum*, as indicators to ecological well-being, from the bays of Sevastopol for the period of 2002–2018 is analyzed.

The average value of the isolation frequency of algal viruses of microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricorutum* for the all observed period is 18 % and 23 % respectively, which indicates a slight difference in the average of their insulation frequency.

The obtained results indicate that the frequency of isolation of algal viruses of microalgae *Tetraselmis viridis*, which is resistant to environmental factors, was observed

in the range from 54–52 % (in 2002–2003 and 2015) to 3–0 % (in 2007–2009). The frequency of isolation of algal viruses of microalgae *Phaeodactylum tricornerutum*, which is demanding of good environment conditions, was observed in the range from 53–45 % (2008, 2018) to 0 % (2015).

So the highest difference in the isolation frequency of algal viruses of microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricornerutum* was detected in 2008 (isolation frequency 45 % for *Phaeodactylum tricornerutum* Virus and 3 % for *Tetraselmis viridis* Virus) and in 2015 (isolation frequency 0 % for *Phaeodactylum tricornerutum* Virus and 52 % for *Tetraselmis viridis* Virus).

On the basis of the data obtained, taking into account the demanding of exacting environmental conditions or resistance to unfavorable environmental factors of viral hosts, it is logical to assume ecological well-being in the studied water areas in 2008 (maximum isolation frequency of algal viruses of *Phaeodactylum tricornerutum*) and unfortunate in 2015 (minimum isolation frequency of algal viruses of *Phaeodactylum tricornerutum*).

Keywords: algal viruses, indicators of ecological well-being - microalgae *Tetraselmis viridis* and *Phaeodactylum tricornerutum*, ecological well-being of the bays of Sevastopol.

References

1. Suttle C. A. Marine viruses - major players in the global ecosystem, *Nature Reviews Microbiology*, **5**, 801 (2007).
2. Dyatlov S. U., Petrosyan A. G. *Phaeodactylum tricornerutum* Bohl. (Chrysophyta) as a test object. General provisions. *Algology*, (**11**) **1**, 145 (2001).
3. Kuzminova N. S. The effect of household wastewater on some representatives of marine micronutrients of the *Chlorophyta* department. *Materials of the International. scientific and practical. Conf. of young scientists*, (Kiev, February 25–28, 2002) 157 (2002).
4. Markina Zh. V., Aizdaycher N. A. Consistency of photosynthetic pigments, growth and size of cells of microalgae *Phaeodactylum tricornerutum* with contamination of the medium with copper, *Physiology of plants*, (**53**) **3**, 343 (2006).
5. Round F. E. The biology of Algae. *London: Edward Arnold*, 269 p. (1965).
6. Decl. Pat. of invention 65864A UA, MKU 7 C12 N 1/12. Method of isolation of algal viruses of unicellular algae, for example *Platymonas viridis* Rouch (Chlorophyta) / Stepanova O. A. (UA); claimant O. O. Kovalevsky Institute of biology of southern seas of National Academy of Sciences of Ukraine (UA). No. 2003065499; claimed. 06.13.2003; publ. 15.04.2004, Bul. № 4 // Promyslova vlasnist. 2004. N 4.
7. Pat. 97293 C2 UA, IPC C12N 1/12. Method of isolation of algal viruses of *Phaeodactylum tricornerutum* (Bacillariophyta) from samples of marine water / Stepanova O. A. (UA); claimant O. O. Kovalevsky Institute of biology of southern seas of National Academy of Sciences of Ukraine (UA). No. a201003881; claimed. 06/04/2010; publ. 25.01.2012. Bul. 2012 No. 2.
8. Stepanova O. A. Monitoring of Algal viruses of the Black Sea (2002–2015), *Systems of control of environment*, (**21**) **1**, 103 (2015).
9. Stepanova O. A. Black Sea algal viruses, *Biology of the sea*, (**42**) **2**, 99 (2016).
10. Stepanova O. A., Stelmakh L. V. Search and isolation of the new algal virus of microalgae *Tisochrysis lutea* from the ecosystem of the Black Sea in the bays of Sevastopol (Crimean region), *Ecosystems*, (**42**) **12**, 28 (2017).
11. Stepanova O. A. Ecology of allochthonous and autochthonous viruses of the Black Sea, 308 (*Sevastopol: Word "EXPRESS PRESS"*, 2004).

УДК 591.1:615.849.11

ЭФФЕКТЫ ПЕРЕКРЕСТНОЙ АДАПТАЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТРЕСС-ФАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ

Чуян Е. Н., Джелдубаева Э. Р., Раваева М. Ю., Заячникова Т. В.

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

В данной работе выявлены эффекты перекрестной адаптации при действии стресс-факторов различной природы и интенсивности (гипокинетическом, болевом и инфицировании). Показано, что последовательное действие гипокинезии и инфицирования приводит к существенному угнетению бактерицидных, гидролитических и энергетических систем нейтрофилов и лимфоцитов, что свидетельствует о снижении неспецифической резистентности и иммунологической реактивности у животных. Гипокинетический стресс изменяет болевую чувствительность на пороговом уровне у крыс в тестах «горячей пластинки» и электростимуляции, что свидетельствует о модифицирующем действии гипокинезии на болевую чувствительность животных вне зависимости от природы болевого раздражителя. При этом изменение болевой чувствительности (уменьшение и увеличение) у животных при гипокинетическом стрессе может служить критерием перехода эустресса в дистресс.

Ключевые слова: перекрестная адаптация, гипокинетический стресс, инфицирование, острый термический стресс, острый электроболевого стресс.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование закономерностей процессов адаптации организмов к факторам внешней среды является одной из актуальных проблем физиологии и медицины. Известно, что благодаря формированию целого спектра защитных перекрестных эффектов, адаптация к чрезмерным воздействиям используется как весьма эффективный способ профилактики и лечения различных заболеваний [1–3]. Показано, что такая адаптация защищает органы от стрессорных повреждений, повышает устойчивость сердца к ишемическим и реперфузионным повреждениям, активирует локальные механизмы защиты внутриклеточных структур и т.д. [4–6]. Предварительная адаптация к гипоксии, согласно широко известной концепции о перекрестной адаптации, значительно повышает устойчивость организма человека к ряду экстремальных воздействий и патологических состояний, вызывая комплексную перестройку организма [4, 7–10].

Изучение особенностей воздействия на организм ограничения подвижности (гипокинезия, ГК) различной «жесткости» и продолжительности привлекает внимание многих исследователей [11–13]. При этом показано как оптимизирующее действие периодических кратковременных иммобилизаций и физических нагрузок умеренной интенсивности на функциональные способности органов и систем и их устойчивость к воздействию повреждающих факторов [14, 15], так и повреждающее

действие на организм длительного ограничения подвижности и чрезмерных физических нагрузок [16].

Особое место среди различных форм долговременной адаптации занимает адаптация к непродолжительному кратковременному стрессу, а именно к эмоциональному, болевому, гипокинетическому. Такая адаптация повышает устойчивость организма не только к тяжелому стрессору, но также обладает перекрестным защитным эффектом, т.е. защищает организм от прямых ишемических, химических, холодовых и даже радиационных повреждений [4]. Кроме того, большинство иммунологических процессов разворачивается на фоне стресса [17]. Умеренная стресс-реакция может вызвать стимуляцию активности иммунной системы, усиление неспецифической противомикробной защиты [18].

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования явилось оценка эффектов перекрестной адаптации при действии стресс-факторов различной природы и интенсивности (гипокинетическом, болевом и инфицировании).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для реализации поставленной цели было проведено две серии экспериментов на 200 белых крысах-самцах линии Вистар массой 180–250 г. Для исследования отбирали животных одинакового возраста, характеризующихся одинаковой двигательной активностью в тесте «открытого поля» [19]. Подобный отбор позволил сформировать однородные группы животных с одинаковыми конституциональными особенностями, однотипно реагирующих на действие различных факторов.

Задачей первой серии экспериментов явилось выявление изменения адаптационных реакций у животных с экспериментально вызванной стресс-реакцией на ограничение подвижности и развитие воспалительного процесса. Предварительно отобранные животные были разделены на 5 групп. К первой и второй группам относились животные, которые в течение 9 суток содержались в обычных условиях вивария (К). Третью группу составляли крысы, содержащиеся в условиях ГК. После 9-тисуточных экспериментальных воздействий животным была введена культура *Mycoplasma Hominis*, полученная из промывных вод бронхов больных в лаборатории микробиологии, вирусологии и микологии Института нефрологии и урологии АМН Украины (г. Киев). *Mycoplasma Hominis* вводилась по 0,2 мл (концентрация 10^6 микробных тел в 1 мл) в хвостовую вену крысам 2-ой (инфицированные, И) и 3-ей (ГК+И) групп. Первая группа служила биологическим контролем (К).

Периферическую кровь получали из хвостовой вены до экспериментального воздействия (1 сутки) и на 3, 5, 7, 9, 23 и 28-ые сутки эксперимента.

В условиях хронического эксперимента в периферической крови цитохимическими методами определяли содержание бактерицидных (пероксидазы (ПО), катионных белков (КБ)) гидролитических (кислой фосфатазы (КФ) и протеазы (ПР)), энергетических (липидов (ЛП), среднюю активность сукцинат- (СДГ) и α -глицерофосфатдегидрогеназ (α -ГФДГ)) в лимфоцитах и нейтрофилах; содержание

катехоламинов (КА) в эритроцитах (Э). Для объективной оценки полученных результатов выводили цитохимический показатель содержания (ЦПС) [20].

На 28-ые сутки животных забивали методом моментальной декапитации. В плазме крови определяли концентрации фактора некроза опухолей- α (ФНО) и интерферона- γ (ИФН). Активность ФНО определяли в виде индекса цитотоксичности (ИЦ) [20].

Во второй серии экспериментов с целью установления модифицирующего действия ГК стресса на изменение болевой чувствительности, крыс разделили на 4 группы. Животных первой (ТГП) и второй (ГК+ТГП), подвергали воздействию острого болевого стресса, который моделировали в тесте «горячая пластинка» (ТГП) [21] в течение девяти суток. Показателями болевой чувствительности у животных этих групп служили болевой порог (БП), за который принимали минимальную температуру пластины установки, сопровождающуюся появлением первых болевых реакций (отдергивание и лизание конечности) и уровень выносимости боли (УВБ) – температуру, при которой наблюдалось развитие другого уровня ноцицептивного возбуждения, сопровождавшегося максимальным усилением эмоционально-поведенческих проявлений: генерализованная двигательная реакция побега, прыжка и вокализации.

Крыс третьей (ТЭС) и четверной (ГК+ТЭС) групп подвергали острому термическому болевому воздействию путем электрического болевого раздражения в тесте электростимуляции (отдергивания лапы) (ТЭС). Измеряли БП по величине силы тока (в миллиамперах, мА).

Для создания условий экспериментального ограничения подвижности (ГК) использовались специальные пеналы из оргстекла, размеры каждой ячейки составляли 140 x 60 x 60 мм для каждой крысы. Такие клетки обеспечивают существенное ограничение подвижности животных по всем направлениям. В описанных пеналах крысы экспериментальных групп (ГК; ГК+И, ГК+ТЭС, ГК+ТГП) находились по 20 часов в сутки. В течение 4-х остальных часов осуществляли экспериментальные исследования, кормление и уход за животными. Описанный метод ограничения подвижности широко используется в экспериментальной физиологии [22]. Однако следует отметить, что в литературе отсутствуют данные относительно стандартизации степени «жесткости» ГК. Сопоставляя нашу модель с описанными в литературе, можно считать, что в данной работе создавалась ГК умеренной (средней) «жесткости».

При проведении экспериментов придерживались «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных».

Обработку и анализ экспериментальных данных проводили с помощью параметрических методов. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента. Обработка результатов производилась по стандартным статистическим программам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Модифицирующее действие ГК стресса на развитие воспалительного инфекционного процесса. Развитие инфекционного процесса у интактных крыс после введения *Mycoplasma Hominis* вызывает заметное повышение продукции ФНО и ИФН. Индекс цитотоксичности ФНО в этой группе крыс повысился в 1,97 ($p < 0,001$) раз, а титр ИФН увеличился в 4,17 раз ($p < 0,001$) относительно уровня значений в контроле. Полученные данные подтверждают сведения о том, что иммунные лейкоциты вырабатывают в 2–8 раз больше ИФН, чем лейкоциты контрольных животных [23]. Это можно расценить как адаптивный ответ организма, направленный на борьбу с антигеном.

При этом у крыс, которые до инфицирования находились в условиях, ограничивающих их подвижность, наблюдалось снижение ИЦ ФНО на 11,58 % ($p < 0,001$) и титра ИФН на 53,51 % ($p < 0,001$) по сравнению с инфицированными животными, которые до введения *Mycoplasma Hominis* оставались интактными ($p < 0,001$). Известно, что стимуляция секреции ФНО может быть вызвана действием различных факторов. Причем, значительное увеличение концентрации ФНО может оказывать повреждающее действие на клетку, а умеренное возрастание концентрации свидетельствует о развитии активных защитных реакций организма.

Развитие инфекционного процесса у животных, которые до введения антигена оставались интактными, привело к активации бактерицидных систем в нейтрофилах. Так, после введения *Mycoplasma* на 23–28 сутки эксперимента ЦПС ПО повысился на 16,49 %–20,32 % ($p < 0,001$), ЦПС КБ – на 8,26–10,23 % ($p < 0,001$) относительно значений контрольной (К) группы животных. Для гидролитических ферментов нейтрофилов – ПР и КФ, а также ЛП характерны аналогичные изменения. Еще более выраженные изменения при развитии инфекционного процесса произошли в динамике окислительно-восстановительных ферментов в лимфоцитах и нейтрофилах крови крыс (рис. 1). Так, средняя активность СДГ в лимфоцитах увеличилась в 1,48 ($p < 0,001$), в нейтрофилах – в 2,48 раз ($p < 0,001$), α -ГФДГ в лимфоцитах – в 2,14 ($p < 0,001$), а α -ГФДГ в нейтрофилах – в 1,50 ($p < 0,001$) раза по сравнению со значениями соответствующих показателей у интактных животных. Девятидневное ограничение подвижности крыс привело к снижению ЦПС ПО, КБ, липидов, повышению ЦПС КФ и ПР в нейтрофилах, уменьшению средней активности СДГ и α -ГФДГ в нейтрофилах и лимфоцитах крови крыс относительно исходного уровня и значений соответствующих показателей в контрольной группе животных (см. рис. 1). Эти данные указывают на разнонаправленную перестройку бактерицидных и гидролитических систем нейтрофилов, что является неблагоприятным признаком, который расценивается как угнетение естественных защитных сил клетки и организма в целом.

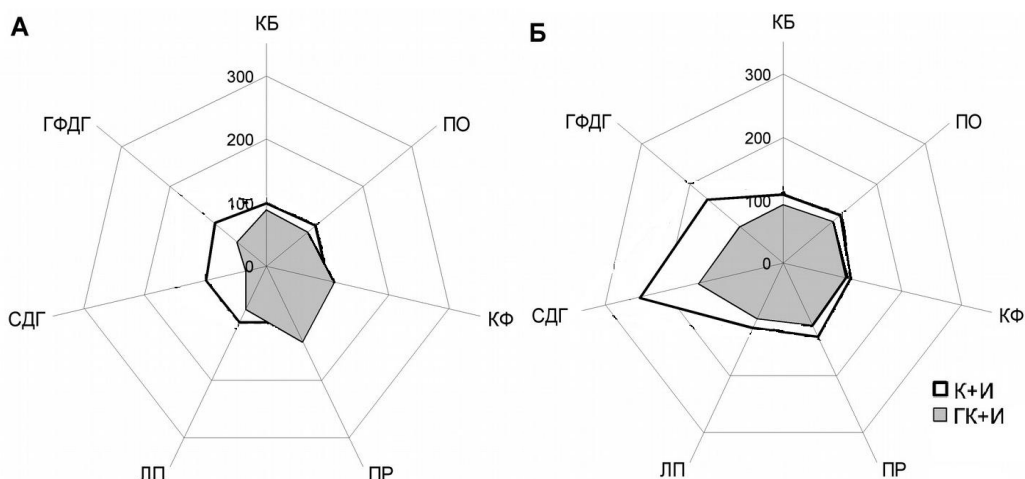


Рис. 1. Динамика цитохимических показателей содержания пероксидазы (ПО), катионных белков (КБ), кислой фосфатаза (КФ), протеазы (ПР), липидов (ЛП), средних активностей сукцинат – (СДГ) и α -глицерофосфатдегидрогеназ (ГФДГ) в нейтрофилах крови крыс после воздействия гипокинезии (ГК) на 9 сутки (А) и последующего инфицирования (И) на 28 сутки (Б) эксперимента.

Через 14 дней после введения *Mycoplasma* животным с ограниченной подвижностью (ГК+И) обнаружено увеличение исследуемых показателей относительно уровня, достигнутого после ГК, за исключением ЦПС КФ, который после повышения во все сроки ограничения подвижности, снизился на 17,5 усл. ед. ($p < 0,05$). Однако уровень всех изученных показателей у животных этой группы в эти сроки наблюдения был значительно ниже значений соответствующих показателей у животных, которые до заражения оставались интактными (К+И) (см. рис. 1). Так, на 23–28 сутки эксперимента ЦПС КБ составлял всего 85,21–85,71 % ($p < 0,001$), ПО – 86,56–90,25 % ($p < 0,001$), ПР – 83,87–84,87 % ($p < 0,001$), КФ – 92,24–92,94 % ($p < 0,01$), ЛП – 86,57–86,66 % ($p < 0,001$) относительно значений соответствующих показателей 2-ой группы животных, которые до инфицирования были интактными. Средняя активность СДГ в лимфоцитах после инфицирования увеличилась в 1,57 раз, в нейтрофилах – в 6,19 раз относительно уровня значений данных показателей на 9-ый день ограничения подвижности, однако активность этого фермента на 18,87 % ($p < 0,01$) в лимфоцитах и на 23,55 % ($p < 0,001$) в нейтрофилах оказалась ниже соответствующих данных у животных, которые до введения антигена не подвергались экспериментальным воздействиям. Аналогичные изменения выявлены и в динамике средней активности α -ГФДГ в лимфоцитах и нейтрофилах крови крыс. Увеличение энергетического потенциала клеток при развитии стресс-реакции обеспечивает срочную адаптацию организма к стрессорной ситуации. Однако в условиях длительной и/или интенсивной стресс-реакции не происходит увеличения мощности системы энергообеспечения, а интенсивная мобилизация ресурсов перестает быть адаптивным фактором и

приводит к прогрессивному истощению организма [18], что и выявлено в настоящем исследовании.

Таким образом, последовательное действие гипокинезии и инфицирования приводит к существенному угнетению бактерицидных, гидролитических и энергетических систем нейтрофилов и лимфоцитов.

Девятисуточное ограничение подвижности крыс, соответствующее стадии тревоги ГК стресса [24, 25], приводит к снижению адаптивного ответа на введение антигена. Наблюдения у людей и эксперименты на животных убедительно свидетельствуют о влиянии тяжелой и (или) длительной стресс-реакции (дистресса) на иммунологическую реактивность. Иммунодепрессивное действие стресса является причиной того, что вакцинация часто оказывается неэффективной, если иммунизация проводится на фоне стресса. У животных, как и у людей, тяжелый и достаточно длительный стресс подавляет различные звенья иммунитета [26]. Следует подчеркнуть, что существует сходство ответа организма на антиген с ответами на различные стрессоры. Это понятно, так как антигены, по существу, являются стрессорами.

Таким образом, последовательное действие хронического ГК стресса и инфицирования приводит к угнетению показателей неспецифической противомикробной защиты, угнетению синтеза интерферона и других цитокинов, что мы и наблюдали в настоящем исследовании.

2. Модифицирующее действие ГК стресса на изменение болевой чувствительности крыс в тестах «горячей пластинки» (ТГП) и электростимуляции (ТЭС). Как показали результаты исследования второй серии экспериментов, измерения БП, отражающего двигательный компонент ноцицептивного ощущения и УВБ, имеющего характер эмоционально-аверсивных проявлений у животных первой группы (ТГП), подвергнутых действию острой термической боли в ТГП в течение девяти суток эксперимента изменялись незначительно и в среднем составили $50,68 \pm 0,29$ °C и $56,55 \pm 0,37$ °C соответственно (рис. 2).

При воздействии термического фактора у животных, предварительно подвергавшихся 9-тисуточному ГК стрессу, происходило изменение БП и УВБ по сравнению со значениями соответствующих показателей у животных, подвергнутых изолированному термическому воздействию (ТГП). Однако направленность изменений этих показателей зависела от продолжительности ГК стресса. Так, после суточного ограничения подвижности животных зарегистрированы повышения БП и УВБ на 4,66 % ($p < 0,001$) и 2,28 % ($p < 0,05$) соответственно относительно значений у крыс, подвергнутых изолированному воздействию болевого фактора.

С третьих по пятые сутки ГК у животных второй группы (ГК+ТГП) отмечалось снижение БП и УВБ по сравнению с уровнем этих показателей, зарегистрированным в первые сутки наблюдения. Однако их значения превышали данные у крыс первой группы (ТГП) в среднем на 2,03 % ($p < 0,05$) и 2,71 % ($p < 0,05$) соответственно. С седьмых по девятые сутки ограничения подвижности отмечалось более выраженное уменьшение БП и УВБ. При этом значения данных показателей снизились в среднем на 0,96 % ($p < 0,05$) и 0,97 % ($p < 0,05$)

соответственно относительно значений у животных, подвергнутых изолированному термическому воздействию.

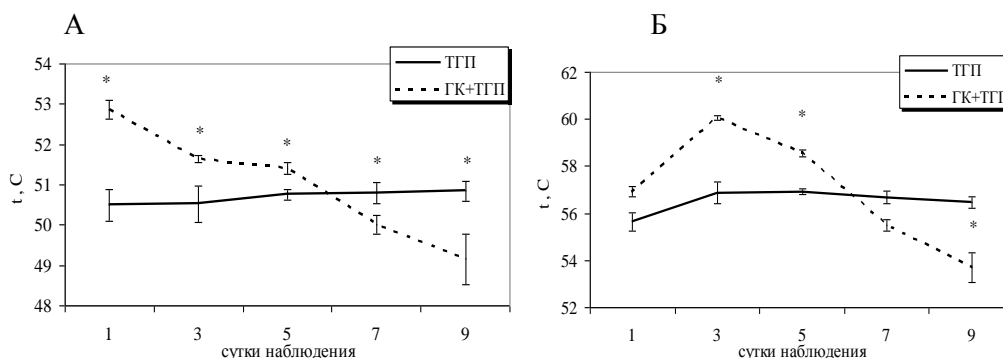


Рис. 2. Изменение болевого порога (А) и уровня выносливости боли (Б) ($t^{\circ}\text{C}$) у крыс, подвергнутых изолированному (ТГП) и комбинированному с гипокинетическим стрессом (ТГП+ГК) действию болевого фактора в тесте «горячей пластинки» в течение девяти суток наблюдения.

Примечание: * – достоверность различий по критерию Стьюдента относительно значений у животных, подвергнутых действию изолированного болевого фактора.

При воздействии острого электроболевого стресса у животных третьей группы (ТЭС) БП в течение девяти суток эксперимента изменялся незначительно и находился в пределах от 180 ± 10 мА до 400 ± 50 мА.

У животных четвертой группы, предварительно подвергавшихся ГК стрессу (ГК+ТЭС), происходило достоверное изменение БП по сравнению со значениями данного показателя у животных третьей группы (ТЭС) (рис. 3). Однако направленность этих изменений также, как и у животных первой (ТГП) и второй (ГК+ТГП) групп зависела от продолжительности ГК стресса.

Так, у животных, подвергнутых комбинированному действию ГК и болевого стрессов с первых по шестые сутки наблюдения, регистрировалось увеличение БП относительно данных у животных второй (ТЭС+ГК), наиболее выраженное после первых суток ГК (на 180,77 %; $p < 0,01$) (рис. 3). Однако с седьмых по девятые сутки ограничения подвижности у животных данной группы отмечалось уменьшение БП в среднем на 53,17 % ($p < 0,05$) относительно значений у животных, подвергнутых изолированному электроболевому воздействию.

Следовательно, результаты данной серии исследований позволили выявить способность ГК стресса модифицировать уровень болевой чувствительности у крыс при экспериментально вызванной острой термической и электрической болевых реакциях, однако, направленность изменений болевой чувствительности крыс в данных тестах зависела от продолжительности ГК стресса.

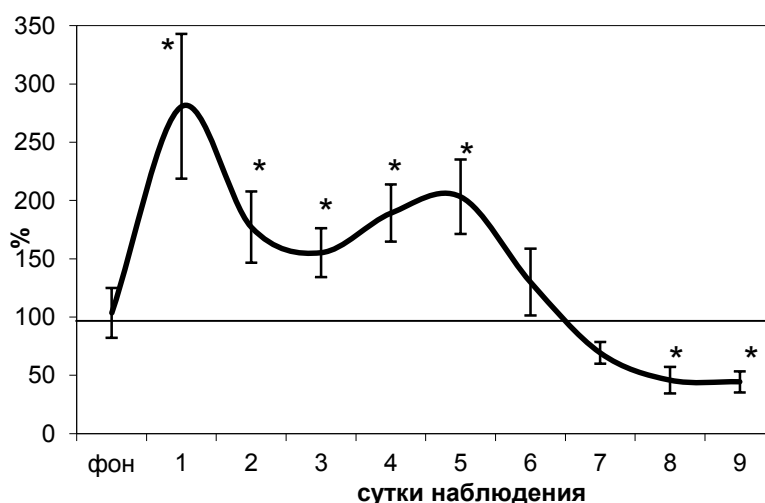


Рис. 3. Динамика болевого порога (%) у крыс, подвергнутых изолированному (ТЭС) и комбинированному с гипокинетическим стрессом (ГК + ТЭС) действию болевого фактора в тесте электростимуляции в течение девяти суток наблюдения (за 100 % приняты значения у животных в группах с изолированной экспериментальной болью).

Примечание: * – достоверность различий по критерию Стьюдента относительно значений у животных, подвергнутых действию изолированного болевого фактора.

Известно, что адаптация к стрессорным воздействиям различной интенсивности и природы вызывает изменение активностей стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем организма.

Адаптация к коротким стрессорным воздействиям закономерно приводит к увеличению физиологической мощности основного звена стресс-реализующей системы – симпато-адреналового (САС). Поскольку мобилизация этой регуляторной системы составляет первое и необходимое звено адаптации к основным факторам среды, можно предположить, что адаптация к стрессорным ситуациям повышает резистентность ко всем перечисленным факторам, т. е. обладает положительным перекрестным действием, что и наблюдалось в наших исследованиях при комбинированном действии кратковременного ГК стресса и болевого воздействия.

Наряду с увеличением активности САС при развитии стресс-реакции происходит активация стресс-лимитирующих систем организма, в частности, опиоидных пептидов (ОП), серотонина (СТ), мелатонина (МТ) которые способны ограничивать активность стресс-реализующих систем и тем самым чрезмерное развитие в организме стресс-реакции на центральном и периферическом уровнях [4, 18] и одновременно являются основными антиноцицептивными системами организма [28].

Таким образом, защитные эффекты перекрестной адаптации, связанные с активацией стресс-реализующей и стресс-лимитирующих систем организма, дают возможность для использования адаптации к коротким стрессорным воздействиям с целью предупреждения и устранения наиболее опасных функциональных нарушений и активации неспецифических механизмов защиты организма.

Вместе с тем, при длительном (9-тисуточном) ГК стрессе, о данным Е. Н. Чуян с соавт. (2003), происходит генерализованное усиление активности САС, о чем свидетельствует ускорение синтеза адреналина в мозговом веществе надпочечников, усиление его выхода в кровь, а также увеличение депонирования катехоламинов эритроцитами, твердой мозговой оболочкой и тканью ушек миокарда [20].

На фоне увеличения активности стресс-реализующих систем при длительном ГК стрессе происходит снижение активности стресс-лимитирующих систем организма [4]. В частности, показано, что после длительных стрессорных воздействий не наблюдается увеличения уровня СТ в мозге [28], происходит снижение его содержания и в лейкоцитах периферической крови [29]. Аналогично этому продолжительный «патологический» стресс, в отличие от кратковременного «физиологического», приводит не к повышению, а к значительному снижению концентрации энкефалинов в крови, нарушению процессов секреции и депонирования их в надпочечниках [30]. Так, показана дезинтеграция эндогенной опиоидной системы, а именно изменение регионального и тканевого распределения ОП при возникновении дистресса, физических нагрузках, а также некоторых формах патологии [4, 31]. По мнению Ю. Б. Лишманова с соавт. [30], такое изменение активности эндогенной опиоидной системы отражает интенсивность развития стресс-реакции и может служить предикатором перехода «физиологического» стресса (эустресс) в «патологический» (дистресс).

О связи ОП с МТ свидетельствуют и исследования Е. Н. Чуян и М. М. Махониной [29], в которых показано, что действие 9-тисуточного ГК стресса на крыс приводит к значительному снижению концентрации МТ в сыворотке крови, которое проявляется в ещё большей степени на фоне блокады опиоидных рецепторов. Показано, что антистрессорный эффект МТ может осуществляться несколькими путями, среди которых наиболее значимы нейрофизиологический, эндокринологический, иммунологический, хронобиологический и анальгетический механизмы [32]. В настоящее время МТ относят к стресс-лимитирующим системам организма. Это связано с тем, что гормон сдерживает и контролирует работу центральных и периферических звеньев САС и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГНС) [33, 34].

Следовательно, изменения болевой чувствительности животных при ГК стрессе, зарегистрированные в данном исследовании могут служить критерием перехода эустресса в дистресс. Это может быть связано с тем, что ключевым звеном, определяющим предрасположенность и устойчивость организма к стресс-факторам, является уровень активности различных звеньев стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем, а также степень их активации под влиянием стресса [4].

Таким образом, можно предположить, что значительное увеличение активности стресс-реализующих систем (САС и ГГНС) на фоне угнетения активности стресс-

лимитирующих систем (ОП, СТ, МТ) при длительной ГК приводят к повреждающим эффектам стресс-реакции и увеличению болевой чувствительности, снижению неспецифической резистентности и иммунологической реактивности у животных. Поэтому при длительном стрессе, связанном с ограничением подвижности, основные адаптивные эффекты трансформируются в повреждающие и могут стать основой стрессорных болезней. Чрезмерная по своей напряженности и/или длительная по времени адаптация к определенному фактору, какое-то время протекая успешно, имеет, тем не менее, высокую «структурную цену» и в конечном счете приводит к функциональному истощению или гиперактивации систем, участвующих в адаптационном процессе, то есть к нарушению их взаимоотношений, а, следовательно, к патологической дезадаптации, что снижает функциональные возможности организма к действию других факторов внешней среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены эффекты перекрестной адаптации при действии стресс-факторов различной природы и интенсивности (гипокинетическом, болевом и инфицировании).
2. Последовательное действие гипокинезии и инфицирования приводит к существенному угнетению бактерицидных, гидролитических и энергетических систем нейтрофилов и лимфоцитов, а также уменьшению концентрации ИФН и ФНО в плазме крови, что свидетельствует о снижении неспецифической резистентности и иммунологической реактивности у животных.
3. Гипокинетический стресс изменяет поведенческие реакции и болевую чувствительность на пороговом уровне у крыс в тестах «горячей пластинки» и электростимуляции, что свидетельствует о модифицирующем действии гипокинезии на болевую чувствительность животных вне зависимости от природы болевого раздражителя. Воздействие гипокинетического стресса на болевую чувствительность у крыс зависит от продолжительности ограничения подвижности. При этом изменение болевой чувствительности (уменьшение и увеличение) у животных при гипокинетическом стрессе может служить критерием перехода эустресса в дистресс.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Совета Министров Республики Крым в рамках научного проекта № 18-44-910008 p_a.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Слоним А. Д. Об изучении и классификации сложных форм физиологических адаптаций / А. Д. Слоним // Физиологические адаптации в природе и эксперименте. – Фрунзе: Илим, 1978. – С. 9–26.

2. Пшенникова М. Г. Сродство и различия адаптации к гипоксии и адаптации к физическим нагрузкам и их защитных эффектов / М. Г. Пшенникова // *Hypoxia Medical J.* – 1994. – №3. – Р.3–11.
3. Мещеряков А. В. Перекрестные эффекты адаптации к стрессорным ситуациям / А. В. Мещеряков, С. П. Левушкин // *Историческая и социально-образовательная мысль.* – 2015 – Т.7, № 3. – С. 122–125.
4. Меерсон Ф. З. Концепция долговременной адаптации / Ф. З. Меерсон – М.: «Дело», 1993. – 136 с.
5. Павлов С. Е. Адаптация / С. Е. Павлов. – М.: Паруса. – 2000. – 282 с.
6. Сонькин В. Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека / В. Д. Сонькин // *Физиология человека.* – 2007. – Т. 33, №3. – С. 93–94.
7. Березовский В. А. Физиологические механизмы саногенных эффектов горного климата / В. А. Березовский, В. Г. Дейнега – Киев, 1988. – 224 с.
8. Закощиков К. Ф. Гипокситерапия – «горный воздух» / К. Ф. Закощиков, С. О. Катин – Москва: Бумажная галерея, 2001. – 64с.
9. Леутин В. П. Прерывистая нормобарическая гипоксия как экспериментальная модель незавершенной адаптации / В. П. Леутин, Я. Г. Платонов, Г. М. Диверт [и др.] // *Физиология человека.* – 2004. – Том 35, №5. – С. 85–91.
10. Ushakov I. V. Methodic approaches using normobaric interval c and anti-radio resistance in workers of eld to increase nonspeci hypoxia and impulse magnetic ecologically unfavorable industries / I. V. Ushakov, N. F. Izmerov, I. V. Bukhtiarov // *Med. Tr. Prom. Ekol.* – 2005. – Vol. 2. – P. 11–15.
11. Павлович Е. Р. Ультраструктура миокарда сердца кролика в поздние сроки иммобилизационного стресса / Е. Р. Павлович // *Бюл. exper. биол. и мед.* – 2001. – Т. 132, № 7. – С. 99–102.
12. Жвания М. Г. Структура двигательной коры мозга крысы при гипокинезии / М. Г. Жвания, Н. А. Костенко // *Морфология.* – 1995. – Т. 108. – С. 13–16.
13. Frank S. M. The catecholamine, Cortisol, and hemodynamic responses to mild perioperative hypothermia. A randomized clinical trial. / S. M. Frank, M. S. Higgins, M. J. Breslow [et al.] // *Anesthesiology.* – 1995. – Vol. 82. – P. 83–93.
14. Евсеева М. Е. Сравнительная оценка разных видов адаптационной защиты миокарда при стрессе / М. Е. Евсеева, М. Г. Пшенникова // *Кардиология* – 2002. – №4. – С. 51–54.
15. Белкина Л. М. Генетически обусловленные различия в устойчивости к инфаркту миокарда у крыс Вистар и линии Август / Л. М. Белкина, В. А. Салтыкова, М. Г. Пшенникова // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* – 2001. – Т. 131, № 6. – С. 624–628.
16. Архипенко Ю. В. Защитные эффекты адаптации к гипоксии и гипероксии. // XX съезд Физиологического общества им. И. П. Павлова. Тезисы докладов./ Ю. В. Архипенко – М.: Изд. дом «Русский врач», 2007. – С. 12–13.
17. Корнева Е. А. О взаимодействии нервной и иммунной систем / Е. А. Корнева // *Имунофизиология.* – СПб, Наука, 1993. – С. 7–9.
18. Пшенникова М. Г. Феномен стресса. Эмоциональный стресс и его роль в патологии / М. Г. Пшенникова // *Пат. физиол.* – 2001. – № 2. – С. 26–30.
19. Чуян Е. Н. Влияние миллиметровых волн нетепловой интенсивности на развитие гипокинетического стресса у крыс с различными индивидуальными особенностями: Автореф. дис... канд. биол. наук./ Е. Н. Чуян – СГУ. – Симферополь, 1992. – 25 с.
20. Чуян Е. Н. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ / Е. Н. Чуян, Н. А. Темурьянц, О. Б. Московчук [и др.] – Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2003. – 448 с.
21. O'Callaghan J. Quantification of the analgesic activity of narcotic antagonists by a modified hot-plate procedure / J. O'Callaghan, S. G. Holtzman // *Pharmacol. Exp. Ther.* – 1979. – Vol. 194. – P. 497–505.
22. Коваленко Е. А. Гипокинезия / Е. А. Коваленко, Н. Н. Гуровский – М.: Медицина, 1980. – 307 с.
23. Соловьев В. Д. Интерфероны в теории и практике медицины / В. Д. Соловьев, Т. А. Бектемиров. – М.: Медицина, 1981. – 400 с.
24. Португалов В. В. Структурные и цитохимические изменения скелетных мышц при ограничении подвижности / В. В. Португалов, Е. И. Ильина–Какуева., В. И. Старостин [и др.] // *Арх. анат., гистол., эмбриол.* – 1976. – Т. 61, № 11. – С. 82–90.
25. Михайлов А. В. Функциональная морфология нейтрофилов крови крыс в процессе адаптации к гипокинезии: Автореф. дис... канд. биол. наук: СГУ / А. В. Михайлов. – Симферополь, 1985. – 25 с.

26. Панчишин М. В. Стан периферичної крові та органів імунної системи при різних адаптаційних реакціях в експерименті / М. В. Панчишин, О. М. Радченко // Фізіологічний журнал. – 2002. – Т. 48, № 6. – С. 60–64.
27. Женило В. М. Современные представления о функционировании ноцицептивной и антиноцицептивной систем организма / В. М. Женило, И. А. Азнаурьян, Ю. Б. Абрамов // Вестник интенсивной терапии. – 2000. – № 2. – С. 30–35.
28. Joseph M. H. Brain tryptophan and 5-HT function in stress / M. H. Joseph, G. A. Kennett // Br. J. Pharmacol. – 1981. – Vol. 3. – P. 267.
29. Чуян Е. Н. Влияние блокады системы опиоидных пептидов на изменения эмоционально-поведенческих реакций крыс, вызываемые действием электромагнитного излучения крайне высокой частоты в условиях нормы и гипокинетического стресса / Е. Н. Чуян, М. М. Махонина, Т. В. Заячникова // Нейрофизиология / Neurophysiology. – 2006. – Т. 38, № 1. – С. 52–60.
30. Лишманов Ю. Б. Опиоидные пептиды в динамике «физиологического» и патологического стресса / Ю. Б. Лишманов, Л. Н. Маслов, Л. В. Маслова, Н. Г. Кривоногов // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 1990. – № 4. – С. 7–9.
31. Naggert J. K. Hyperproinsulinaemia in obese fat/fat mice associated with a carboxypeptidase E mutation which reduces enzyme activity / J. K. Naggert, L. D. Fricker, O. Varlamov Li [et al.] // Nat Genet. – 1995. – Vol. 10(2). – P. 135–142.
32. Simonneaux V. Generation of the melatonin endocrine message in mammals: a review of the complex regulation of melatonin synthesis by norepinephrine, peptides, and other pineal transmitters / V. Simonneaux, C. Ribelayga // Pharmacol. Rev. – 2003. – V. 55, No 2. – P. 325–395.
33. Арашунян Э. Б. Гормон эпифиза мелатонина и его лечебные возможности / Э. Б. Арашунян // Русский медицинский журнал. – 2005. – Т. 13, № 26. – С. 1755–1760.
34. Vasin S. Effects of melatonin administrated at various times of the day on the release of neurohypophyseal hormones from the rat hypothalamus in vitro/ S. Vasin, A. Grossman, M. L. Forsling // J. Physiol. – 1993. – Vol. 473. – P. 111.

EFFECTS OF CROSS-ADAPTATION UNDER STRESS-FACTORS OF VARIOUS NATURE AND INTENSITY

Chuyan E. N., Dzheldubaeva E. R., Ravaeva M. Yu., Zayachnikova T. V.

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

In this paper, the effects of cross-adaptation under the action of stress factors of different nature and intensity are presented. It has been shown that the successive effect of chronic hypokinetic stress and infection leads to inhibition of bactericidal, hydrolytic and energy systems of neutrophils and lymphocytes, as well as to a decrease in the concentration of IFN and TNF in the blood plasma, which indicates a decrease in nonspecific resistance and immunological reactivity in animals. Hypokinetic stress also alters pain sensitivity at the threshold level in rats under experimentally induced acute thermal and electrical pain reactions, however, the direction of changes in the pain sensitivity of rats in these tests depends on the duration of hypokinetic stress, which indicates the modifying effect of hypokinesia on the pain sensitivity of animals, regardless of the nature of the pain stimulus. The protective effects of cross adaptation, associated with the activation of stress-realizing and stress-limiting systems of the organism, enable the use of adaptation to short stress effects in order to prevent and eliminate the most dangerous functional disorders and the activation of nonspecific mechanisms of body

defense. Excessive in its intensity and / or long-term adaptation to a certain factor, for some time flowing successfully, and eventually leads to a functional depletion or hyperactivation of the systems involved in the adaptation process, that is, to the violation of their relationships, and, consequently, to pathological disadaptation, which reduces the functional capacity of the organism to the action of other environmental factors. In this case, the change in pain sensitivity (decrease and increase) in animals with hypokinetic stress can serve as a criterion for the transition of eustress to distress.

Keywords: cross-adaptation, hypokinetic stress, infection, acute thermal stress, acute electroobatic stress.

References

1. Slonim A. D., Ob izuchenii i klassifikatsii slozhnykh form fiziologicheskikh adaptatsiy, *Fiziologicheskiye adaptatsii v prirode i eksperimente* (Ilim, Frunze, 1978), p. 9.
2. Pshennikova M. G., Srodstvo i razlichiya adaptatsii k gipoksii i adaptatsii k fizicheskim nagruzkam i ikh zashchitnykh effektov, *Hypoxia Medical J.*, **3**, 3-11 (1994).
3. Meshcheryakov A. V., Levushkin S. P., Meshcheryakov A. V., Perekrestnyye efekty adaptatsii k stressornym situatsiyam, *Istoricheskaya i sotsial'no-obrazovatel'naya mysl'*, **7** (3), 122-125 (2015).
4. Meyerson F. Z., *Kontseptsiya dolgovremennoy adaptatsii*, 136 p. (Delo, Moscow, 1993).
5. Pavlov S. Ye., *Adaptatsiya*, 282 p. (Parusa, Moscow, 2000).
6. Son'kin V. D., Fizicheskaya rabotosposobnost' i energoobespecheniye myshechnoy funktsii v postnatal'nom ontogeneze cheloveka, *Fiziologiya cheloveka*, **33** (3), 93 (2007).
7. Berezovskiy V. A., Deynega V. G. *Fiziologicheskiye mekhanizmy sanogennykh effektov gornogo klimata*, 224 p. (Kiyev, 1988)
8. Zakoshchikov K. F., Katin S. O., *Gipoksiterapiya – «gornyy vozdukh»*, 64 p. (Bumazhnaya galereya, Moskva 2001).
9. Leutin V. P., Platonov YA. G., Divert G. M., Preryvistaya normobaricheskaya gipoksiya kak eksperimental'naya model' nezavershennoy adaptatsii, *Fiziologiya cheloveka*, **35** (5), 85 (2004).
10. Ushakov I. B., Izmerov N. F., Bukhtiarov I. V., Methodic approaches using normobaric interval c and anti-radio resistance in workers of eld to increase nonspeci hypoxia and impulse magnetic ecologically unfavorable industries, *Med Tr Prom Ekol.*, **2**, 11 (2005).
11. Pavlovich Ye. R., Ul'trastruyuura miokarda serdtsa krolika v pozdnye sroki immobilizatsionnogo stressa, *Byul. eksper.biol. i med.*, **132** (7), 99 (2001).
12. Zhvaniya M. G., Kostenko N. A., Struktura dvigatel'noy kory mozga krysy pri gipokinezii, *Morfologiya*, **108**, 13 (1995).
13. Frank S. M., Higgins M. S., Breslow M. J. et al., The catecholamine, Cortisol, and hemodynamic responses to mild perioperative hypothermia. A randomized clinical trial, *Anesthesiology*, **82**, 83 (1995).
14. Yevsev'yeva M. Ye., Pshennikova M. G., Sravnitel'naya otsenka raznykh vidov adaptatsionnoy zashchity miokarda pri stresse, *Kardiologiya*, **4**, 51 (2002).
15. Belkina L. M., Saltykova V. A., Pshennikova M. G., Geneticheski obuslovlennyye razlichiya v ustoychivosti k infarktu miokarda u krysv Vistar i linii Avgust, *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*, **131**, (6), 624 (2001).
16. Arkhipenko Yu. V., Zashchitnyye efekty adaptatsii k gipoksii i giperoksii, *XX s'yezd Fiziologicheskogo obshchestva im. I. P. Pavlova. Tezisy dokladov*, (Izd. dom «Russkiy vrach», Moscow, 2007), p. 16
17. Korneva Ye. A., O vzaimodeystvii nervnoy i immunnoy system, *Immunofiziologiya*, (SPb, Nauka, 1993), p. 7
18. Pshennikova M. G., Fenomen stressa. Emotsional'nyy stress i yego rol' v patologii, *Pat. fiziol.*, **2**, 26 (2001).
19. Chuyan E. N., *Vliyaniye millimetrovykh voln neteplovoy intensivnosti na razvitiye gipokineticheskogo stressa u krysv s razlichnymi individual'nymi osobennostyami: Avtoref. dis... kand. biol. Nauk* (SGU, Simferopol', 1992), p. 25.

20. Chuyan E. N., Temur'yants N. A., Moskovchuk O. B., Chirskiy N. V., Verko N. P., Tumanyants Ye. N., Ponomareva V. P., *Fiziologicheskiye mekhanizmy biologicheskikh effektov nizkointensivnogo EMI KVCH* (CHP «El'in'ov», Simferopol', 2003), p. 448.
21. O'Callaghan J., Holtzman S. G., Quantification of the analgesic activity of narcotic antagonists by a modified hot-plate procedure, *Pharmacol. Exp. Ther.*, **194**, 497 (1979).
22. Kovalenko Ye. A., Gurovskiy N. N. *Gipokineziya* (Meditsina, Moscow, 1980), p. 307.
23. Solov'yev V. D., Bektemirov T. A., *Interferony v teorii i praktike meditsiny* (Meditsina, Moscow, 1981), p. 400.
24. Portugalov V. V., Il'ina-Kakuyeva Ye. I., Starostin V. I., Rokhlenko K. D., Savik Z. F., Strukturnyye i tsitokhimicheskiye izmeneniya skeletnykh myshts pri ogranichenii podvizhnosti, *Arkh. anat., gistol., embriol.*, **61**, (11), 82 (1976).
25. Mikhaylov A. V. *Funktional'naya morfologiya neyetrofilov krovi krysa v protsesse adaptatsii k gipokinezii: Avtoref. dis... kand. biol. Nauk*, (SGU, Simferopol', 1985), p. 25.
26. Panchishin M. V., Radchenko O. M. Stan periferichnoi krovi ta organiv imunnoi sistemi pri riznikh adaptatsiynikh reaktsiyakh v yeksperimenti, *Fiziologichnyi zhurnal*, **48** (6), 60 (2002).
27. Zhenilo V. M., Aznauryan I. A., Abramov YU. B., Sovremennyye predstavleniya o funktsionirovanii notsitseptivnoy i antinotsitseptivnoy sistem organizma, *Vestnik intensivnoy terapii*, **2**, 30 (2000).
28. Joseph M. H., Kennett G. A., Brain tryptophan and 5-HT function in stress, *Br J Pharmacol*, **3**, 267 (1981).
29. Chuyan E. N., Makhonina M. M., Zayachnikova T. V., Vliyaniye blokady sistemy opioidnykh peptidov na izmeneniya emotsional'no-povedencheskikh reaktsiy krysa, vyzvyvayemyye deystviyem elektromagnitnogo izlucheniya krayne vysokoy chastoty v usloviyakh normy i gipokineticheskogo stressa, *Neurophysiology*, **38** (1), 52 (2006).
30. Lishmanov YU. B., Maslov L. N., Maslova L. V., Krivonogov N. G., Opioidnyye peptidy v dinamike «fiziologicheskogo» i patologicheskogo stressa, *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, **4**, 7 (1990).
31. Naggert J. K., Fricker L. D., Varlamov O., Nishina P. M., Rouille Y., Steiner D. F., Carroll R. J., Paigen B. J., Leiter E. H., Hyperproinsulinaemia in obese fat/fat mice associated with a carboxypeptidase E mutation which reduces enzyme activity, *Nat Genet.*, **10**(2), 135 (1995).
32. Simonneaux V., Ribelayga C., Generation of the melatonin endocrine message in mammals: a review of the complex regulation of melatonin synthesis by norepinephrine, peptides, and other pineal transmitters, *Pharmacol. Rev.*, **55** (2), 325 (2003).
33. Arashunyan E. B. Gormon epifiza melatonina i yego lechebnyye vozmozhnosti, *Russkiy meditsinskiy zhurnal*, **13** (26), 1755 (2005).
34. Vasin S., Grossman A., Forsling M. L., Effects of melatonin administrated at various times of the day on the release of neurohypophyseal hormones from the rat hypothalamus in vitro, *J. Physiol.*, **473**, 111 (1993).

УДК 612.821

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ РЕГУЛЯЦИИ ТКАНЕВОГО КРОВОТОКА ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Чуян Е. Н.¹, Трибрат Н. С.¹, Трибрат А. Г.²

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

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

E-mail: tribratnatalia@rambler.ru

Работа посвящена исследованию влияния низкоинтенсивного миллиметрового излучения (длина волны – 7,1 мм) на локальные факторы регуляции тканевого кровотока. Показано, что миллиметровое излучение затрагивает как миогенный локальный компонент регуляции, так и эндотелиальный компонент, оптимизируя их функциональную активность как в условиях покоя, так и при функциональной нагрузке.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, низкоинтенсивное миллиметровое излучение, тепловая проба.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение активности локальных факторов регуляции микроциркуляции играет ключевую роль в поддержании постоянства внутренней среды. При этом для понимания функционирования системы микроциркуляции большое значение имеет «тепловая проба». Она направлена на раскрытие резервных возможностей микроциркуляторного русла, с одной стороны, а, с другой – на выявление реактивности микрососудов [1], поскольку в механизме гипертермии, присутствует в том числе сочетанное действие локальных миогенных и эндотелиальных факторов регуляции тканевого кровотока [2], составляющих местные механизмы регуляции микроциркуляции.

Низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) миллиметрового (ММ) диапазона (рабочая длина волны – 7,1 мм) оказывает многостороннее действие на системы и органы, воздействуя в том числе и на систему тканевого кровотока [3]. Учитывая высокий профиль безопасности, хорошую сочетаемость с другими лечебными методами, ММ-излучение часто применяется в коррекционных мероприятиях в физиотерапевтической практике для профилактики и лечения различных заболеваний [4]. Механизмы действия этого вида излучения, а также его вероятные мишени в системе тканевого кровотока мало изучены.

В наших предыдущих исследованиях были показаны эффекты ММ-излучения, проявляемые в области непосредственного воздействия данного физического

фактора, развивающиеся в период экспозиции [3], где в наибольшей степени изменяются локальные факторы регуляции тканевого кровотока, а также в симметричной воздействию области, где проявляются преимущественно рефлекторные механизмы действия, включающиеся на более поздних этапах ММ-воздействия. Однако изменения локальных факторов регуляции тканевого кровотока в интактных областях при действии ММ-излучения в настоящее время не выявлены. Таким образом, **целью** настоящего исследования явилось исследование активности локальных факторов регуляции микрокровоотока при действии низкоинтенсивного миллиметрового излучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе Медицинского биофизического центра Клинического медицинского многопрофильного центра Святителя Луки при Крымском федеральном университете им. В. И. Вернадского. В исследовании принимали участие 20 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 20–35 лет. Все обследуемые на момент исследования были практически здоровыми.

Исследование локальных факторов регуляции микроциркуляции проводили с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на лазерном анализаторе микроциркуляции «ЛАКК-02» (НПП «Лазма», Россия). В основе метода лежит регистрация изменения потока крови в микроциркуляторном русле при помощи неинвазивного зондирования ткани лазерным излучением с последующей обработкой отраженного от ткани излучения, основанной на эффекте Доплера. При проведении ЛДФ-граммы происходит регистрация уровня перфузии или показателя микроциркуляции (ПМ), пропорционального количеству и скорости движения эритроцитов. Однако наиболее существенным является временная изменчивость потока крови [1], который является результатом суперпозиции основных гемодинамических ритмов. Ритмические колебания кровотока и их изменения позволяют получить информацию об определенных соотношениях различных механизмов, определяющих состояние микроциркуляции [1].

Тепловую пробу проводили с дополнительным использованием блока для проведения функциональных проб «ЛАКК-ТЕСТ», согласно методике, описанной в монографии [2].

Нагревательный элемент площадью 1 см² совместно с зондирующим оптическим волноводом фиксировали в области Захарьина-Геда сердца правой руки (на 4 см выше лучезапястного сустава), поскольку именно эта область рекомендуется для интегральной оценки состояния микрососудистого русла в целом, так как отображает преимущественно нутритивный кровоток [5]. Тепловая проба проводилась путем нагревания области исследования, начиная от порогового температурного фона нагревательного элемента – 32 °С до температуры – 42 °С с шагом 2 °С в минуту по следующей схеме: регистрация фоновых значений показателей микроциркуляции в течение 2-х минут при температуре 32 °С, регистрация уровня перфузии при нагреве от 32 °С до 42 °С в течение 5 минут, а также регистрация восстановления показателей тканевого кровотока до возвращения к исходным значениям уровня перфузии после выключения

нагревательного элемента еще в течение 7–8 минут. Таким образом, общая продолжительность записи составляла около 15 минут. Регистрация уровня перфузии производилась в течение всего периода проведения температурной пробы. По окончании записи ЛДФ-грамму разделяли на 4 фрагмента, в числе которых фоновая запись (32 °С), фрагмент записи, соответствующий первоначальному нагреву (32–37 °С), где отмечался плавный прирост уровня перфузии, фрагмент записи, соответствующий скачкообразному приросту уровня перфузии с дальнейшим выходом ее на плато (38–42 °С) и фрагмент записи, соответствующий периоду восстановления тканевого кровотока. В дальнейшем каждый фрагмент записи ЛДФ-граммы подвергался вейвлет-преобразованию с расчетом спектральных характеристик ЛДФ-граммы, соответствующих основным гемодинамическим ритмам по которым возможна оценка основных механизмов контроля тканевого кровотока. Полученная высокая корреляция между колебаниями температуры и изменениями кожного кровотока показывает, что метод вейвлет-анализа кожной температуры может быть эффективно использован для оценки механизмов регуляции сосудов микроциркуляторного русла [6]. Среди гемодинамических ритмов, соответствующих основным механизмам регуляции тканевого кровотока [2] выделяют эндотелиальные (синхронизированные с выработкой NO, 0,0095–0,02 Гц), миогенные (отражающие активность гладкомышечных прекапилляров, 0,07–0,15 Гц), нейрогенные (соответствующие нисходящей симпатической адренергической активности, 0,02–0,052 Гц), дыхательные (обусловленные динамикой венозного давления при механической активности грудной клетки, 0,15–0,4 Гц) и пульсовые, определяющие тонус резистивных микрососудов, 0,8–1,6 Гц).

Для каждого температурного фрагмента рассчитывали спектральные характеристики, соответствующие механизмам регуляции тканевого кровотока. Кроме того, определяли резерв капиллярного кровотока (РКК), характеризующий максимальное кровенаполнение микрососудистого русла при нагреве, который рассчитывали по формуле:

$$\text{РКК} = \frac{\text{Ммакс} - \text{Мисх}}{\text{Мисх}} * 100\%, \quad (1)$$

где Ммакс. – максимальное значение уровня перфузии, полученное при нагреве, Мисх. – исходное значение показателя микроциркуляции.

Реактивность гладкомышечных клеток микрососудов целесообразно оценивать по периоду полувосстановления тканевого кровотока – T1/2 (в секундах), регистрируемого после выключения нагревательного элемента.

Воздействие низкоинтенсивным ММ-излучением проводили ежедневно на 7-миканальном аппарате «КВЧ-НД2» (регистрационное удостоверение на медицинское изделие ФСР 2007/00763 от 18.09.2007), работающим на длине волны – 7,1 мм, в течение 10 дней с экспозицией 30 минут. Волновод размещали в области правого плечевого сустава, где располагаются большое количество биологически активных точек, являющихся мишенями для действия ММ-излучения. Локальную тепловую пробу проводили до, а также после первого и десятого сеансов воздействия ЭМИ ММ-диапазона.

Достоверность различий оценивали по критерию Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При локальном увеличении температуры отмечается повышение уровня перфузии, возникающее в результате тепловой гиперемии. По мере нарастания локальной температуры рост уровня перфузии происходит в две фазы: фазу первоначальной вазодилатации (соответствует диапазону температур 32–37 °С), характеризующуюся умеренным подъемом уровня перфузии и длительной вазодилатацией, характеризующейся скачкообразным приростом уровня перфузии, переходящим в плато (до 42 °С).

Оценивая гемодинамические ритмы, зарегистрированные при проведении тепловой пробы до воздействия ММ-излучением при исходной температуре – 32 °С отмечалось доминирование переходных нейрогенно-миогенных ритмов. Высокочастотные дыхательные и пульсовые ритмы были представлены в меньшей степени (табл. 1).

Период первоначального нагрева, соответствующий первой фазе вазодилатации с плавным приростом уровня перфузии, отличался перераспределением доминирующих механизмов в ответ на тепловую гиперемию. Так, отмечалось увеличение вклада низкочастотных ритмических компонентов – эндотелиальных и миогенных в общую мощность спектра в сравнении со спектральными характеристиками, зарегистрированными при начальной температуре 32 °С. Указанные изменения тканевого кровотока, вероятно, отражают адаптационные особенности регуляторных механизмов микрососудов в ответ на начало тепловой гиперемии и свидетельствуют об увеличении функциональной активности микрососудистого эндотелия и открытии прекапиллярных сфинктеров, то есть о начальных этапах снижения тонуса резистивных микрососудов.

Период дальнейшего нагрева – до температуры 42 °С, где отмечался скачкообразный прирост уровня перфузии с последующим выходом на плато, соответствующий второй фазе вазодилатации, характеризовался закономерным приростом амплитуды пульсовой волны, в меньшей степени – приростом эндотелиального, а также дыхательного компонентов в общей мощности спектра. Указанные изменения отражают процессы увеличения кровенаполнения артериолярного звена микрососудистого русла, в меньшей степени – венолярного в ответ на выраженный локальный нагрев. Так как период плато характеризовался достижением максимального значения уровня перфузируемости тканей, поэтому именно в этом периоде оценивали уровень резерва капиллярного кровотока, который составил 340,13 % (рис. 1).

В периоде восстановления преобладали переходные нейрогенно-миогенные ритмы наряду с высокими значениями пульсовых ритмов, что свидетельствует о снижении периферического сопротивления как в области артериол, так и в области гладкомышечных прекапилляров.

Период полувосстановления уровня перфузии, после выключения нагревательного элемента, составил 115 с.

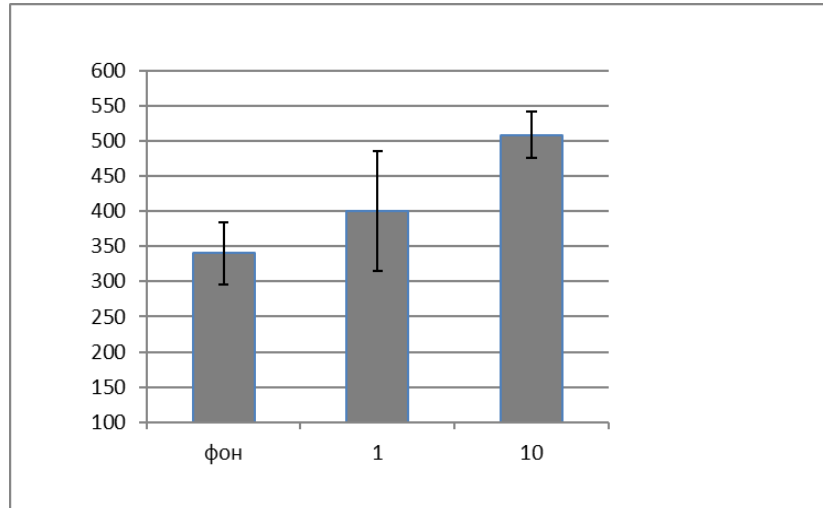


Рис. 1. Динамика показателя резерва кожного кровотока (РКК, %), зарегистрированная при проведении тепловой пробы до и после однократного и 10-кратного воздействий миллиметрового излучения

Примечание: достоверность различий оценивалась по критерию Вилкоксона; ММ – миллиметровые; РКК – резерв капиллярного кровотока.

Согласно литературным данным первоначальная вазодилатация в локальной гипертермии обусловлена невральными аксон-рефлекторными механизмами, а именно с антидромным релизингом нейропептидов из окончаний сенсорных волокон, что обусловлено активацией термочувствительных ванилоидных рецепторов сенсорных волокон типа 1 (*VR-1*). Кроме того, в значительно меньшей степени первая фаза вазодилатации поддерживается релизингом оксида азота преимущественно в метартериолах или артериолах 5-го порядка. Вторая фаза выраженной вазодилатации обусловлена высвобождением *NO* из эндотелия микрососудов большого диаметра. При этом, величина общего вазодилаторного ответа, отражающего резервы кожного кровотока (РКК), определяется преимущественно выраженностью второй фазы, реализуемой посредством белков теплового шока (*90 kda*), активирующих эндотелиальную *NO*-синтазу (*eNOS*). *eNOS*, в свою очередь, являясь конститутивной формой *NO*-синтазы, катализирует образование *NO* в физиологических концентрациях.

Однократное воздействие ММ-излучением не привело к значимым изменениям тканевого кровотока в условиях проведения тепловой пробы. В то время как курсовое ММ-воздействие способствовало изменению тканевой микрогемодинамики как в первой, так и во второй фазах вазодилатации, а также в периоде восстановления при последующем проведении локальной тепловой пробы.

Таблица 1.

Значения спектральных характеристик ЛДФ-граммы при проведении тепловой пробы до и после однократного и 10-кратного воздействий миллиметрового излучения

Периоды температурной пробы	Амплитудные характеристики	Фоновые значения	После однократного мм воздействия	После 10-тикратного мм воздействия
Фон (32 °С)	Аэ	11,62±0,79	11,38±1,06	12,78±1,01
	Ан	16,67±0,559	17,24±0,69	16,20±0,99
	Ам	16,05±0,63	18,34±0,73	17,84±0,63
	Ад	8,66±0,49	9,02±0,75	9,32±0,56
	Ап	10,82±1,14	11,09±1,09	11,59±1,22
Нагрев до t=42 °С	Аэ	13,48±0,78	13,84±0,91	16,80±0,81, p≤0,05
	Ан	16,28±0,62	17,23±0,28	17,85±0,64
	Ам	18,35±0,76	17,95±0,33	19,50±0,88
	Ад	9,52±0,57	10,65±0,44	10,15±0,51
	Ап	11,06±0,66	12,89±1,93	14,15±0,83
Период плато	Аэ	12,50±1,15	13,50±1,98	15,05±0,98, p≤0,05
	Ан	16,53±0,94	17,09±0,25	16,79±0,56
	Ам	14,89±0,65	15,98±0,28	15,25±0,72
	Ад	14,62±0,42	10,03±0,59	12,93±0,50
	Ап	18,74±1,42	15,09±0,77	23,10±0,98, p≤0,05
Период восстановления	Аэ	12,04±1,06	11,50±0,47	15,20±0,67
	Ан	17,00±0,91	16,89±0,93	15,82±0,73
	Ам	17,80±0,56	16,70±0,75	12,00±0,66, p≤0,05
	Ад	11,44±0,73	11,01±0,99	11,10±0,63
	Ап	16,21±0,94	17,33±0,35	17,43±0,32

Примечание: достоверность различий $p \leq 0,05$ относительно исходных значений по критерию Вилкоксона;

ММ – миллиметровые; М – параметр микроциркуляции, Аэ – амплитудные значения эндотелиальных ритмов; Ан – амплитудные значения нейрогенных ритмов; Ам – амплитудные значения миогенных ритмов; Ад – амплитудные значения дыхательных ритмов; Ап – амплитудные значения пульсовых ритмов.

В частности, в начальном периоде нагрева (32–37 °С) курсовое воздействие ММ-излучением привело к увеличению амплитудных значений эндотелиальных ритмов на 24,00 % ($p \leq 0,05$) в сравнении со значениями аналогичного показателя, зарегистрированными до воздействия ММ-волн в этом же периоде.

Во вторую фазу нагрева (до 42 °С) курсовое воздействие ММ-излучением

способствовало возрастанию амплитудных значений пульсовой волны на 23,27 % ($p \leq 0,05$) относительно значения этого показателя, зарегистрированных до воздействия ММ-излучением в этом же периоде. Указанные изменения сопровождаются увеличением артериолярного кровенаполнения, что обусловлено, вероятно, возрастанием амплитудных значений эндотелиальных ритмов на 20,40 % ($p \leq 0,05$). Очевидно, что изменения микрогемодинамики привели к значительному приросту (в 1,5 раза, до 507,88 %) уровня резерва кожного кровотока на 10-й день эксперимента (рис. 1), что свидетельствует о возрастании резервной функциональной емкости микрососудов кожи.

Таким образом, 10-тикратное воздействие ММ-излучением способствовало увеличению амплитудных значений эндотелиальных ритмов как в первую, так и во вторую фазы локальной гипертермии в сравнении с полученными данными этого показателя, зарегистрированными до воздействия ММ-волн в соответствующих периодах. Поскольку медленные эндотелиальные ритмы синхронизированы с периодическим релизингом оксида азота [7], увлечение их амплитудных значений после курса ММ-терапии свидетельствует в пользу возрастания функциональной активности микрососудистого эндотелия, инициирующего вазодилаторный ответ. Полученные данные согласуются с нашими предыдущими исследованиями, где было показано увеличение базального и стимулированного релизинга NO в области воздействия ММ-волн [8, 9], и дополняют их. Обращает на себя внимание тот факт, что зарегистрированный эффект отмечался в интактной области, что требует вовлеченности системных механизмов ответной реакции на действие ММ-волн. Так, согласно литературным данным, под влиянием ММ-волн (42,253 ГГц, плотность потока мощности от 100 мкВт/см² до 50 мВт/см²) [10, 11] происходит дегрануляция тучных клеток. Показано, например, что уровень гистамина в зоне дегрануляции тучных клеток под действием ММ-излучения увеличивается в 30 раз. При этом, тучные клетки, как известно, могут инициировать целый спектр процессов, ответственных за системный отклик организма благодаря своей способности синтезировать, накапливать и секретировать ряд биологически активных веществ, например, гистамин, серотонин. Гистамин, в свою очередь, оказывает положительное влияние на увеличение активности белков теплового шока (90 kda тирозин-фосфорилированный *eNOS*-связанный протеин), приводя к возрастанию активности *eNOS*, опосредующей вторую и, в меньшей степени, – первую фазы тепловой вазодилатации посредством релизинга NO.

Вместе с тем, системный характер увеличение релизинга оксида азота в интактных воздействию ММ-волн областях требует паракринного характера действия NO. Паракринный характер действия оксида азота реализуется за счет вступления NO в стабильные соединения с переносчиками, способными связывать, переносить и высвобождать NO в месте его физиологического действия. В качестве основных форм депонирования и транспортировки NO рассматривают S-нитрозотиолы и динитрозильные комплексы железа.

Кроме того, серотонин, увеличение содержания которого также показано при ММ-воздействии [12], также стимулирует эндотелий-зависимую вазодилатацию.

Вероятно, эти обстоятельства повлияли на возрастание амплитудных значений эндотелиальных ритмов в обе фазы вазодилатации при действии ММ-волн.

Увеличение эндотелиальной активности, отмечаемое после курса воздействия ММ-волнами как в первой, так и во второй фазах вазодилатации, сопровождается снижением периферического сопротивления, следствием чего является возрастание амплитуды пульсовой волны во второй фазе гипертермии. Указанные обстоятельства сопутствуют увеличению артериолярного кровенаполнения, что нашло свое выражение в приросте резерва кожного кровотока в 1,5 раза.

Вместе с тем, курсовое воздействие ММ-волн привело к изменению тканевой микрогемодинамики и в периоде восстановления – отмечалось снижение амплитудных значений миогенных ритмов на 32,00 % ($p \leq 0,05$), что сопровождается увеличением сократительной активности гладкомышечных прекапилляров. Подобная реакция гладкомышечных клеток способствует поддержанию оптимального гидростатического давления в микрососудах в условиях увеличения кровенаполнения, препятствующего формированию периваскулярного отека. Прекапилляры призваны поддерживать постоянное гидростатическое давление, в связи с чем они отличаются наибольшей чувствительностью к локальным экстра- и интравасальным факторам, в том числе и к интенсивности потока крови. Удерживание в физиологических границах гидростатического давления при колебаниях артериального давления является одним из определяющих факторов трансапиллярного обмена веществ и жидкости, что обеспечивается за счет миогенной ауторегуляции, в основе которой лежит чувствительность гладкомышечных клеток микрососудов к растяжению, под влиянием которого их сократительная активность усиливается. Так, механизм миогенной ауторегуляции запускается активацией чувствительных к растяжению сосудистой стенки катионных каналов мембраны миоцитов, в результате чего наблюдается увеличение поступления Ca^{2+} в клетку. Сенсорами этой реакции являются протеинкиназа С и фосфолипаза A_2 , стимулирующих высвобождение арахидоновой кислоты из клеточной мембраны. Арахидоновая кислота, превращаясь в вазоконстрикторный метаболит, блокирует кальций-зависимые калиевые каналы и открывает потенциал-зависимые кальциевые каналы, деполаризуя мембрану гладкомышечных клеток, что сопровождается их констрикцией.

Согласно литературным данным, согласно которым, слабые ЭМИ влияют на процессы транспорта Ca^{2+} через плазматическую мембрану [13], модифицируют активность Ca^{2+} -зависимых мембраносвязанных белков [14], индуцируют кальциевую мобилизацию, изменяют внутриклеточную концентрацию свободных ионов кальция [15], изменяют сродство внутриклеточных белков к Ca^{2+} , что, в свою очередь, может приводить к существенным изменениям на уровне основных функций клеток различного типа, в том числе и гладкомышечных.

Ведущая роль в механизмах увеличения чувствительности сократительного аппарата гладкомышечных клеток к Ca^{2+} отводится преимущественно протеинкиназе С, активность которой меняется под действием ММ-излучения при наличии тока Ca^{2+} через мембрану клеток [16]. Показано, что опосредованные протеинкиназой С пути сенситизации сократительных белков участвуют в ответных

реакциях гладкомышечных клеток на увеличение внутрисосудистого давления в микроциркуляторном русле [17].

Кроме того, экспериментальные исследования, проведенные ранее, свидетельствуют о том, что фосфолипаза А₂ является одной из мишеней действия ММ-волн в клетках [16], что также может оказывать влияние на реализацию миогенной ауторегуляции при действии данного низкоинтенсивного физического фактора в условиях проведения тепловой пробы.

Вероятно, снижение амплитудных значений миогенных ритмов в периоде восстановления после курса ММ-терапии способствовало увеличению реактивности гладкомышечных клеток микрососудов, что способствовало сокращению периода полувосстановления тканевого кровотока на 15 с ($p \leq 0,05$) относительно этого же показателя, зарегистрированного до курса ММ-терапии. Таким образом период полувосстановления составил 100 с.

Таким образом, курсовое воздействие ММ-излучением способствовало с одной стороны, увеличению функциональной активности микрососудистого эндотелия как в первой, так и во второй фазах гипертермии, способствуя снижению периферического сопротивления и возрастанию резервных возможностей капиллярного кровотока, а с другой, – увеличению сократительной активности гладкомышечных прекапилляров, способствуя увеличению реактивности гладкомышечных клеток микрососудов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Низкоинтенсивное миллиметровое излучение приводит к изменению параметров тканевой микрогемодинамики в условиях проведения локальной тепловой пробы: увеличению функциональной активности эндотелиальных и миогенных факторов регуляции микроциркуляции.
2. Под действием миллиметрового излучения происходит увеличение функциональной активности эндотелия как в первой, так и во второй фазах вазодилатации при проведении локальной тепловой пробы (увеличение амплитудных значений эндотелиальных ритмов на 24,00 %, $p \leq 0,05$ и 20,40 % $p \leq 0,05$ соответственно).
3. Воздействие миллиметровых волн приводит к увеличению сократительной способности гладкомышечных клеток (снижение амплитуды миогенных ритмов в периоде восстановления на 32,00 %, $p \leq 0,05$), что сопровождается сокращением периода полувосстановления тканевого кровотока при гипертермии.

Использовано оборудование ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Козлов В. И. Система микроциркуляции крови: клинко–морфологические аспекты изучения / В. И. Козлов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т.5, Вып. 1. – С. 84–101.
2. Крупаткин А. И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. – М. : Медицина, 2005. – 127.
3. Чуян Е. Н. Механизмы действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения на тканевую микрогемодинамику / Е. Н. Чуян, Н. С. Трибрат, М. Н. Ананченко и др. – Симферополь : ДИАЙПИ, 2011. – 325 с.
4. Боголюбов В. М. Общая физиотерапия. / Боголюбов В. М., Пономаренко Г. Н. – М. – С-Пб.: Правда. 1996. – 480 с.
5. Маколкин В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В. И. Маколкин, В. В. Бранько, Э. А. Богданова и др. – М. : Россельхозакадемия, 1999. – 33 с.
6. Сагайдачный А. А. Восстановление спектра колебаний кровотока из спектра колебаний температуры пальцев рук, дисперсия температурного сигнала в биоткани / А. А. Сагайдачный, А. В. Скрипаль, А. В. Фомин и др. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2013. – Т.1, Вып. 45. – С. 76–82.
7. Kvandal P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber et al. // Microvascular Research. – 2003. – Vol. 65. – P. 160–171.
8. Трибрат Н. С. Модуляция микроциркуляторных процессов с помощью низкоинтенсивного миллиметрового излучения (Часть 1) / Н. С. Трибрат, Е. Н. Чуян // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского Серия «Биология. Химия». – 2010. – Т. 23(62), No 3. – С. 167–175.
9. Трибрат Н. С. Модуляция микроциркуляторных процессов с помощью низкоинтенсивного миллиметрового излучения (Часть 2) / Н. С. Трибрат, Е. Н. Чуян // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского Серия «Биология. Химия». – 2010. – Т. 23 (62), No. 4. – С. 207–215.
10. Воронков В. Н. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ. Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: межд. симпоз.: сб. докл. / Воронков В. Н., Хижняк Е. П. – Москва, ИРЭ АН СССР. 1991 – С. 635.
11. Попов В. И. Дегрануляция тучных клеток кожи под действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / В. И. Попов, В. В. Рогачевский, А. Б. Гапеев // Биофизика. – 2001. – Т. 46, вып. 6. – С. 1096–1102.
12. Чуян Е. Н. Изменение функциональной активности лимфоцитов крови крыс как отражение модифицирующих эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ и гипокинетического стресса / Е. Н. Чуян, М. М. Махонина // Таврический медико–биологический вестник. – 2005. – Т. 8, вып. 3. – С. 142–145.
13. Adey W. R. Physiological signaling across cell membranes and cooperative influences of extremely low frequency electromagnetic fields. In: Frohlich H. (ed.) / Adey W. R. – Biological coherence and response to external stimuli, Berlin Heidelberg, New York: Springer. 1988. – p. 148.
14. Geletyuk V. I. Dual effects of microwaves on single Ca^{2+} -activated K^+ channels in cultured cells Vero / V. I. Geletyuk, V. N. Kazachenko, N. K. Chemeris et al. // FEBS Lett. – 1995. –Vol. – 359. – P. 85–88.
15. Berridge M. J. Cytoplasmic calcium oscillations : a two pool model / M. J. Berridge // Cell Calcium. – 1991. – Vol. 12. – P. 63–72.
16. Аловская А. А. Биологический эффект ЭМИ КВЧ определяется функциональным статусом клеток / А. А. Аловская, А. Г. Габдулхакова, А. Б. Гапеев и др. // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5, вып. 2. – С. 11–14.
17. Albert A.P. Properties of a constitutively active Ca^{2+} permeable non-selectiv cation channel in rabbit ear artery myocytes / A. P. Albert, A. S. Paper, W. A. Large // J. Physiol. – 2003. – Vol. 549. – P. 143–156.

CHANGE OF THE ACTIVE LOCAL FACTORS REGULATION TISSUE BLOOD FLOW BY INFLUENCE OF LOW INTENSITY MILLIMETER RADIATION

Chuyan E. N., Tribirat N. S., Tribirat A. G.

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

The study disclose the one of aspects treatment physiotherapeutic factor – low-intensity millimeter radiation (wavelength – 7.1 mm; the densities flow veinlet – 0.1 mW / cm²). In the paper considers the effects of influence low intensity millimeter radiation on the local factors of regulation of tissue blood flow. Changes evaluation in tissue blood flow was carried out by method of laser Doppler flowmetry.

It was detected a two-phase reaction of microcirculatory vessels in response to local heat. The mechanisms of changes in tissue blood flow for the action of millimeter radiation during the local hyperthermia were revealed and analyzed.

The oscillatory changes in the regulatory mechanisms and the overall increase in blood flow under the action of this factor are calculated. The multiple exposures this physical factor leads to growth of the response on microvessel endothelium in the period of heating and plateau during hyperthermia and the growth of blood filling of small vessels. During the recovery period after the hiperthermia there was a pronounced constrictive reaction of smooth muscle cells of microvessels, limiting perivascular edema.

Keywords: microcirculation, low-intensity millimeter radiation, heat test

References

1. Kozlov V. I. System of microcirculation of blood: clinical and morphological aspects of the study. *Regional blood circulation and microcirculation*, **5**, **1**, 84 (2006).
2. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. *Laser Doppler flowmetry of microcirculation*, 254 p. (Medical, 2005).
3. Chuyan E. N., Tribirat N. S., Ananchenko M. N. *Mechanisms of action of low-intensity millimetric radiation on tissue microhemodynamics*, 325 p. (DIAIPI, 2011).
4. Bogolyubov V. M., Ponomarenko G. N., *General physiotherapy*, 480 p. (True, 1996).
5. Makolkin V. I., Branko V. V., Bogdanova E. A. *Method of laser Doppler flowmetry in cardiology*, 135 p. (WizArt, 2004).
6. Sagaidachny A. A., Skripal A. V., Fomin A. V. Restoration of the spectrum of blood flow oscillations from the spectrum of temperature fluctuations of the fingers, dispersion of the temperature signal in the biotissue, *Regional blood circulation and microcirculation*, **1**, **45**, 76 (2013).
7. Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines, *Microvascular Research*, **65**, 160 (2003).
8. Tribirat N. S., Chuyan E. N. Modulation of microcirculatory processes with the help of low-intensity millimeter radiation (Part 1), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **23** (**62**), **3**, 167 (2010).
9. Tribirat N. S., Chuyan E. N. Modulation of microcirculatory processes with the help of low-intensity millimeter radiation (Part 2), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **23** (**62**), **4**, 207 (2010).
10. Voronov V. N., Khizhnyak E. P., Morphological changes in the skin by the action of EHF EMR, Millimeter waves in medicine nonthermal intensity : *Intl. symposium: Sat of reports* (1991), p. 635.
11. Popov V. I., Rogachevsky V. V., Gapeev A. B. Degranulation of mast cells of the skin under the action of low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency, *Biophysics*, **46**, **6**, 1096 (2001).

12. Chuyan E. N., Makhonina M. N. Changes in the functional activity of rat blood lymphocytes as a reflection of modifying effects of low-intensity EMR EHF and hypokinetic stress, *Taurian medical and biological bulletin*, **8, 3**, 142 (2005).
13. Adey W. R. Physiological signaling across cell membranes and cooperative influences of extremely low frequency electromagnetic fields. In: Frohlich H. (ed.) *Biological coherence and response to external stimuli*, (Berlin Heidelberg, New York: Springer. 1988), p. 148.
14. Geletyuk V. I., Kazachenko V. N., Chemeris N. K. et al. Dual effects of microwaves on single Ca^{2+} -activated K^+ channels in cultured cells Vero, *FEBS Lett.*, **359**, 85 (1995).
15. Berridge M. J., Cytoplasmic calcium oscillations : a two pool model, *Cell Calcium.*, **12**, 63 (1991).
16. Alovskaya A. A., Gabdulkhakova A. G., Gapeev A. B., The biological effect of EHF EMR determined by the functional status of cells, *Herald of new medical technologies*, **5, 2**, 11 (1998).
17. Albert A. P., Paper A. S., Large W. A. Properties of a constitutively active Ca^{2+} permeable non-selective cation channel in rabbit ear artery myocytes, *J. Physiol.*, **549**, 143 (2003).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 4 (70). 2018. № 3. С. 208–218.

УДК 544.723.2:579.81.843.4:661.183

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА КАК НОСИТЕЛЯ В ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ БИОСЕНСОРА

Морозкина Е. В., Шемшединова Э. Ш., Абдураманова Э. Р., Кацев А. М.

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

Изучено влияние высокодисперсного кремнезема (ВДК) на биолюминесценцию морских светящихся бактерий *Photobacterium leiognathi* Sh1. Установлено, что контактное взаимодействие фотобактерий с ВДК в течение 30 мин не оказывает влияние на биолюминесценцию данных микроорганизмов. Были получены образцы *P. leiognathi* Sh1 иммобилизованные на кремнеземе. Показано, что при концентрировании *P. leiognathi* Sh1 на сорбенте увеличиваются показатели биолюминесценции в 3–3,5 раза и удельного свечения в 6–7 раз относительно свободных микроорганизмов. Рассчитана сорбционная емкость ВДК по отношению к морским светящимся бактериям. Обнаружено, что свободные и адсорбированные на ВДК микроорганизмы проявляют сходную чувствительность к действию токсических факторов: $K_2Cr_2O_7$, C_2H_5OH и $ZnSO_4$. Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-44-92035 p_a.

Ключевые слова: адсорбционная иммобилизация, *Photobacterium leiognathi* Sh1, биолюминесценция, высокодисперсный кремнезем, чувствительность.

ВВЕДЕНИЕ

В научных и прикладных исследованиях, связанных с биомониторингом, широко используются аналитические биосенсорные системы, в которых чувствительным элементом являются различные ферментные системы, живые клетки и микроорганизмы. Так, например, для анализа экотоксичности водных объектов применяются оптические биосенсоры на основе морских люминесцентных или генно-инженерных бактерий. Принцип их действия основан на том, что интенсивность свечения тест-бактерий служит количественным показателем реакции биологического объекта на внешнее воздействие [1].

Одной из важных задач при разработке оптических биосенсорных устройств является получение иммобилизованных на твердых подложках живых

фотобактерий, которые будут обладать оптимальными для анализа физиологическими и технологическими свойствами [2, 3]. В настоящее время существуют различные способы фиксации бактериальных клеток на поверхности или в объеме носителя, среди которых одним из наиболее простых и доступных является адсорбция и адгезия [4].

В данной работе изучаются свойства высокодисперсного кремнезема (ВДК), как носителя для иммобилизации морских светящихся тест-бактерий. В ряде работ [5, 6] показано, что особенности химической структуры поверхности ВДК позволяют использовать его в фармации и биотехнологии не только как вспомогательное вещество, но и как матрицу-носитель.

Целью данной работы было изучение адсорбционных свойств ВДК по отношению к морским люминесцентным бактериям *Photobacterium leiognathi* Sh1 и оценка возможности применения носителя для создания чувствительного элемента биосенсора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве тест-культуры использованы морские светящиеся бактерии, выделенные из Азовского моря и идентифицированные ранее, как *Photobacterium leiognathi* Sh1 [7]. Бактерии выращивали в течение 20–24 ч при температуре 25° С на жидкой питательной среде (НММEDIA, Индия). В качестве носителя для сорбции бактерий использовали ВДК – «Полисорб МП» (диоксид кремния коллоидный, АО «Полисорб» Россия, Челябинская обл., г. Копейск). Полисорб характеризуется высокой чистотой ($SiO_2 > 99,8\%$) и однородностью, обладает химической, термической, радиационной и микробиологической стойкостью, высокой адсорбционной активностью и физиологической безвредностью [5].

Образцы для изучения адсорбции бактерий готовили добавлением к сорбенту (ВДК 0, 30, 60 и 90 мг) 0,3 мл 0,1 М трис-НСl буферного раствора с рН=7,2 и 2,4 мл 3 % раствора хлорида натрия. После выдерживания полученных суспензий в течение 30 мин при температуре 25 °С для установления равновесия, в них вносили по 0,3 мл суточной бактериальной культуры, после чего образцы инкубировали 30 мин в режиме постоянного перемешивания (СВ-1, Россия). Контрольные пробы готовили без добавления сорбента. Носитель с адсорбированными бактериями отделяли от жидкой среды центрифугированием в течение 5 мин при 1000 об/мин с помощью центрифуги ОПН-3 («Дастан», Кыргызская республика).

Интенсивность биолюминесценции свободных и связанных с сорбентом фотобактерий регистрировали на биолюминометре БЛМ 8801 (Россия). Результаты биолюминесцентного анализа рассчитывали в %, как:

$$I = I/I_0 \times 100 \%,$$

где I – интенсивность биолюминесценции в присутствии ВДК; I_0 – интенсивность биолюминесценции в контроле.

Концентрацию бактерий в надосадочной жидкости оценивали по значению оптической плотности. Для пересчета значений оптической плотности в концентрацию бактериальных клеток использовали калибровочный график $y = 9 \cdot 10^{-10}x + 0,025$ описанный в работе [8]. Концентрацию бактерий на сорбенте

определяли по разности оптической плотности в контрольном образце и в среде после отделения сорбента. Измерения вели при 600 нм с помощью спектрофотометра СФ-2000 (ЛОМО, Россия).

Изображения свечения фотобактерий были получены с помощью цифрового фотоаппарата Nikon D 5200 (Nikon, Япония) при диафрагме 7,1; выдержке 30 секунд; фокусном расстоянии 28 мм.

В качестве стандартных токсикантов (экоотоксиканты) для определения чувствительности полученных форм бактерий на сорбенте применяли 96 % этиловый спирт и водные растворы $K_2Cr_2O_7$ и $ZnSO_4$ (ч. д. а.) с исходными концентрациями 10 мг/мл и 0,25 мг/мл, соответственно. Результаты биотестирования представляли в виде зависимости интенсивности биолюминесценции от концентрации токсиканта.

Для сопоставления чувствительности микроорганизмов использовали характеристику $ЭК_{50}$ – эффективную концентрацию вещества, вызывающую 50 %-е снижение бактериальной биолюминесценции.

Все эксперименты проводили в трехкратных повторениях. Полученные результаты обрабатывали с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важным этапом в создании чувствительного элемента биосенсора является подбор носителя, от которого зависят операционные характеристики сенсора, чувствительность. Используемый в работе сорбент ВДК характеризуется отсутствием пор, аморфностью, а также высокой дисперсностью (размер частиц 90 мкм, площадь удельной поверхности 300 м²/г) [5]. Активные центры на поверхности частиц ВДК представлены в основном силанольными группами $\equiv Si-OH$, которые при pH=7,2 несут отрицательный заряд [7]. Согласно исследованиям [9, 10] удержание бактериальных организмов на поверхности кремнезема реализуется не только за счет действия физико-химических сил (в основном электростатического взаимодействия), но также обусловлено биологическими механизмами, в основе которых лежит адгезия. Данное свойство проявляется в способности микроорганизмов прикрепляться к различным поверхностям образуя клеточные скопления [11].

Поскольку данные по влиянию кремнезема на жизнедеятельность различных микроорганизмов немногочисленны и противоречивы [5, 12, 13], актуальным является изучение контактного взаимодействия *P. leiognathi* Sh1 с поверхностью ВДК. Для этого исходные образцы, содержащие бактериальную суспензию и различное количество сорбента (10, 20 и 30 мг/мл) инкубировали в течение 30 мин в режиме постоянного перемешивания. Биолюминесцентный анализ полученной суспензии показал, что интенсивность свечения морских фотобактерий в системе с ВДК практически не меняется. Это свидетельствует о том, что выбранный сорбент и возможный процесс сорбции не угнетают метаболическую активность фотобактерий (Рис. 1а).

После отделения осадка ВДК от жидкой среды был проведен повторный анализ, результаты которого показали, что интенсивность биолюминесценции надосадочной жидкости со свободными микроорганизмами уменьшается в среднем на 50 % по сравнению с контрольной суспензией бактерий без добавления сорбента (Рис. 1б). В то же время свечение фотобактерий, концентрированных на сорбенте, возросло примерно в 3–3,5 раза (Рис. 1в).

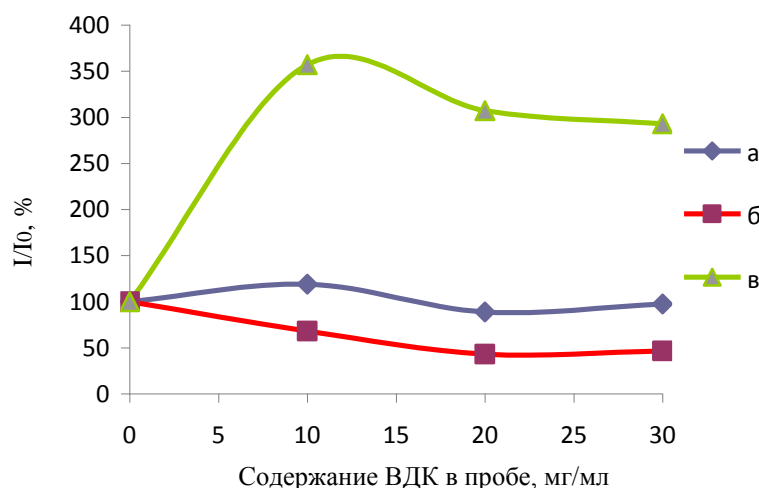


Рис. 1. Зависимость интенсивности биолюминесценции *P. leiognathi* Sh1 от количества ВДК в пробе: а – суспензии ВДК-фотобактерии после перемешивания; б – надосадочной жидкости; в – осадке ВДК-фотобактерии.

Визуальная оценка полученных образцов после разделения фаз показала, что биолюминесценция концентрируется в нижней части пробирок, во всем объеме сорбента (Рис. 2). Количество бактериальных клеток в надосадочной жидкости по результатам измерения оптической плотности ($\lambda=600$ нм) также снижалось с увеличением содержания ВДК в пробах (Рис. 3). Полученные данные согласуются с представленными выше результатами биолюминесцентного анализа.

Таким образом, было установлено, что люминесцентные бактерии адсорбируются на ВДК, что сопровождается их концентрированием и иммобилизацией на поверхности сорбента. С увеличением содержания ВДК в пробах, количество адсорбированных на кремнеземе клеток увеличивалось и достигало максимального значения $1,03 \cdot 10^8$, при содержании сорбента в количестве 30 мг/мл. Расчёты показали, что в зависимости от содержания ВДК в пробе, максимальное количество иммобилизованных бактериальных клеток составило 89,6 %, а сорбционная емкость – $1,14 \cdot 10^6$ – $1,67 \cdot 10^6$ кл/мг сорбента (таблица 1).

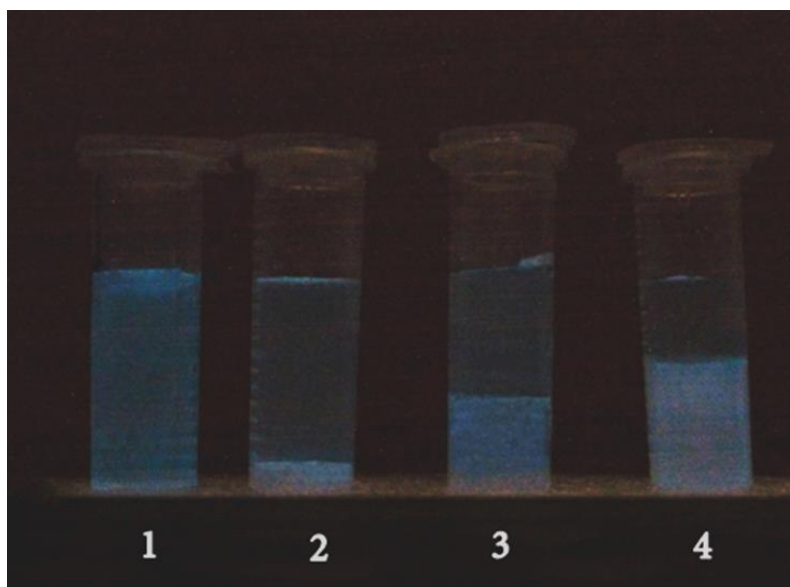


Рис. 2. Фотографическое изображение образцов, полученных в темноте под действием собственного излучения бактерий *P. leiognathi* Sh1, с различным содержанием ВДК (мг/мл): 1 – 0 (контроль); 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30.

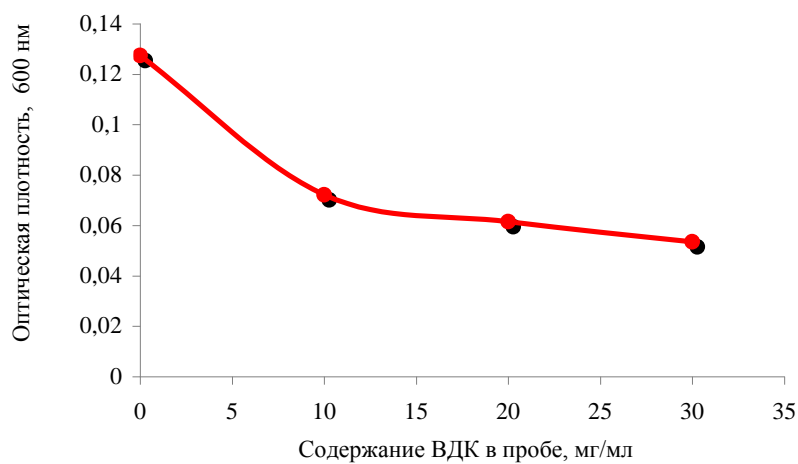


Рис. 3. Значения оптической плотности в надосадочной жидкости в пробах с различным содержанием ВДК.

Таблица 1

Характеристика свободных и связанных с ВДК *P. leiognathi* Sh1

Концентрация ВДК в пробе		Оптическая плотность	Кол-во бактерий, кл	Сорбционная емкость ВДК, кл/мг	Кол-во бактерий, %
Контроль без ВДК		0,1275	$1,15 \cdot 10^8$		
10 мг/мл	надосадочная жидкость	0,0721	$6,50 \cdot 10^7$		
	осадок		$5,00 \cdot 10^7$	$1,67 \cdot 10^6$	43,5
20 мг/мл	надосадочная жидкость	0,0615	$4,00 \cdot 10^7$		
	осадок		$7,50 \cdot 10^7$	$1,25 \cdot 10^6$	65,2
30 мг/мл	надосадочная жидкость	0,0535	$1,25 \cdot 10^7$		
	осадок		$1,03 \cdot 10^8$	$1,14 \cdot 10^6$	89,6

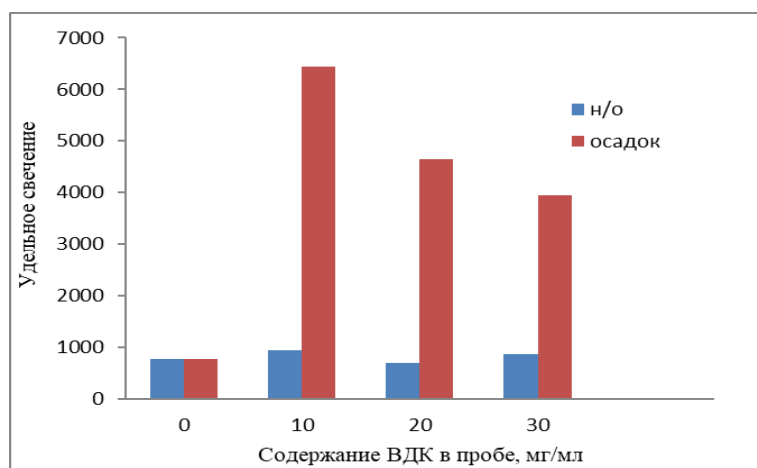


Рис. 4. Удельное свечение свободных и иммобилизованных бактерий

Оценка удельной биолюминесценции бактерий в процессе адсорбции показала, что удельное свечение иммобилизованных бактерий возрастает в 4–7 раз по отношению к свободным, в то время как удельная люминесценция свободных бактерий практически не меняется (Рис. 4). Этот факт, вероятно, связан с явлением

quorum sensing (QS). QS это процесс коллективной координации экспрессии генов в популяции бактерий, опосредующий специфическое поведение клеток, в частности, их способность к биолюминесценции [14]. Адсорбция фотобактерий на поверхности сорбента приводит к увеличению концентрации автоиндукторов, которые запускают экспрессию генов в популяции бактерий, ответственных за биолюминесценцию. В результате чего интенсивность свечения в системе возрастает.

Ключевым параметром биосенсора, определяющим его операционные характеристики, наряду с удельным свечением, является чувствительность к действию токсикантов. Для оценки чувствительности полученных иммобилизованных форм бактерий было проведено сравнительное исследование со свободными фотобактериями в эксперименте по ингибированию биолюминесценции (тест на острую биотоксичность) тремя веществами с различным механизмом проявления токсичности: $K_2Cr_2O_7$, C_2H_5OH и $ZnSO_4$.

Результаты показали, что бихромат калия обладал более сильным действием на иммобилизованные бактерии (Рис. 5). При этом ЭК₅₀ ($K_2Cr_2O_7$) составила 0,4 мг/мл для свободных и 0,3 мг/мл для иммобилизованных. Для $ZnSO_4$ ингибирование свечения на 50 % наблюдалось при концентрациях 0,0045 мг/мл для свободных и 0,0064 мг/мл для иммобилизованных, соответственно (Рис. 6). В этих же условиях эффективная концентрация C_2H_5OH составила 0,113 мг/мл как для свободных, так и для иммобилизованных бактерий (Рис. 7).

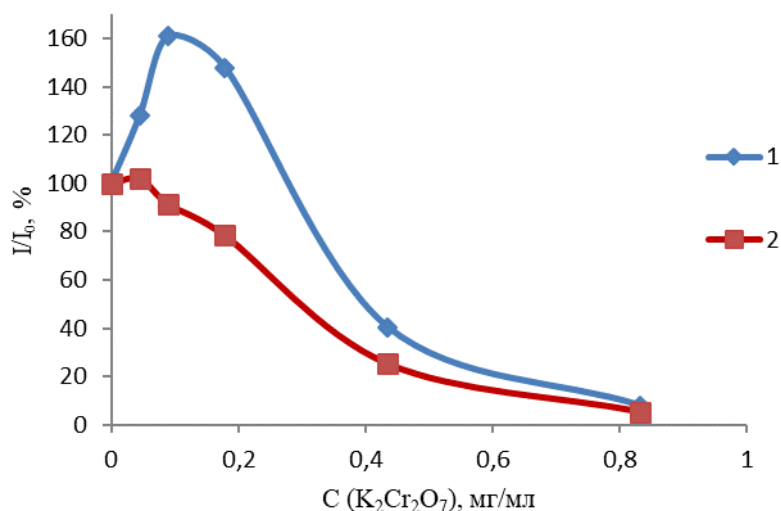


Рис. 5. Тушение свечения свободных (1) и иммобилизованных на ВДК (2) *P. leiognathi* Sh1 $K_2Cr_2O_7$.

Установлено, что кривые ингибирования свечения иммобилизованных бактерий при действии $K_2Cr_2O_7$, $ZnSO_4$ и C_2H_5OH в режиме 15-минутного эксперимента практически не отличаются от кривых затухания свечения свободных

клеток. Величины чувствительности к токсикантам иммобилизованных форм ($ЭК_{50}$) близки к значениям, полученным при применении в качестве тест-объекта свободных клеток. Отмечено небольшое различие кривых ингибирования свободных и иммобилизованных клеток $K_2Cr_2O_7$.

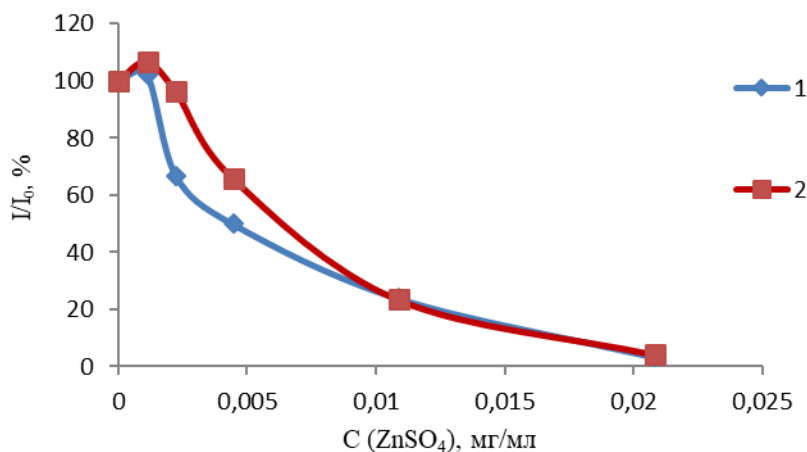


Рис. 6. Тушение свечения свободных (1) и иммобилизованных на ВДК (2) *P. leiognathi* Sh1 ZnSO₄.

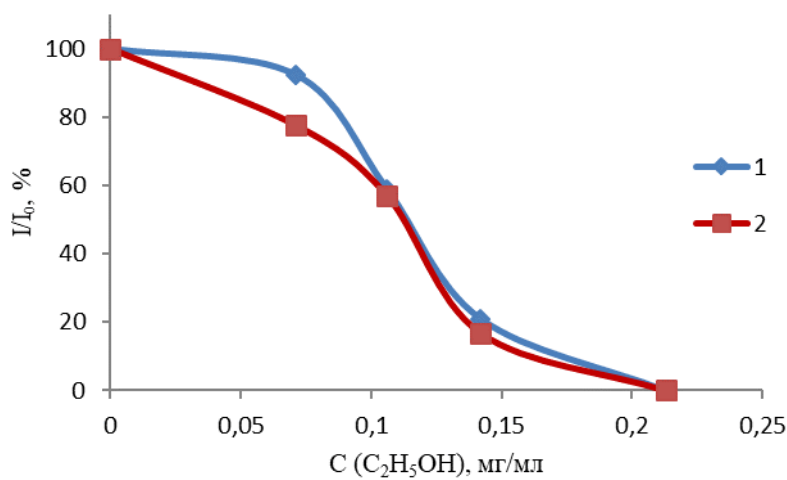


Рис. 7. Тушение свечения свободных (1) и иммобилизованных на ВДК (2) *P. leiognathi* Sh1 C₂H₅OH.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что при инкубировании фотобактерий с ВДК происходит адсорбционная иммобилизация светящихся бактерий на носителе.
2. Установлено, что при адсорбционной иммобилизации удельная люминесценция связанных бактерий возрастает в 4–7 раз.
3. Отмечено, что бактерии, иммобилизованные на ВДК, обладают схожей чувствительностью со свободными бактериями к таким токсическим факторам, как $ZnSO_4$, $K_2Cr_2O_7$, C_2H_5OH .

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-44-92035 р_а.

Список литературы

1. Дерябин Д. Г. Бактериальная биолюминесценция: фундаментальные и прикладные аспекты / Д. Г. Дерябин. – М.: Наука, 2009. – 248 с.
2. Ефременко Е. Н. Биосенсоры на основе иммобилизованных в криогеле поливинилового спирта светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* для биомониторинга экотоксикантов / Е. Н. Ефременко [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2014. – Т. 50, №5. – С. 490–496.
3. Исмаилов А. Д. Фотобиосенсоры на основе светящихся бактерий / А. Д. Исмаилов, Л. Э. Алескерова // Биохимия. – 2015. – Т. 80, №6. – С. 867–881.
4. Кудряшов А. П. Биосенсорные устройства: Курс лекций / А. П. Кудряшов – Минск: БГУ, 2003. – 113 с.
5. Чуйко А. А. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / А. А. Чуйко – Киев: Наукова думка, 2003. – 415 с.
6. Погорельный В. К. Закономерности адсорбции природных биоактивных соединений на поверхности нанодисперсного кремнезема / В. К. Погорельный // Поверхность. – 2009. – Вып. 1 (16). – С. 322–349.
7. Кацев А. М. Идентификация светящихся бактерий, выделенных из Черного и Азовского морей / А. М. Кацев, Дж. Макемсон // Ученые записки ТНУ им. В. И. Вернадского, серия «Биология, химия». – 2006. – Т. 19, №4. – С. 111–116.
8. Абдураманова Э. Р. Функциональные характеристики свободных и иммобилизованных на неорганических носителях фотобактерий Черного и Азовского морей / Н. В. Наумова, Л. М. Дерзян, А. М. Кацев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, серия «Биология, химия». – 2018. – Т. 4 (70), №1. – С. 179–187.
9. Айлер Р. Химия кремнезема / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982. Ч. 1. – 416 с.
10. Серегина Н. В. Обзор биофизических особенностей микробной адгезии / Н. В. Серегина, Т. В. Честнова, В. А. Жеребцова, В. А. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т. 15, №3. – С. 175–177.
11. Micheline E. Staying alive: new perspectives on cell immobilization for biosensing purposes / Micheline E., Roda A. // Anal Bioanal Chem. – 2012. – Vol. 402. – P. 1785–179.
12. Alvarez G. S., Effect of various parameters on viability and growth of bacteria immobilized in sol-gel-derived silica matrices / M. L. Foglia, G. J. Copello, M. F. Desimone, L. E. Diaz [et al] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2009. – Vol. 82. – P. 639–646.
13. Крупская Т. В. Взаимодействие кремнезема с клеточной поверхностью дрожжей и состояние межфазной воды в зоне их контакта / Т. В. Крупская [и др.] // Украинский химический журнал. – 2008. – Т. 74, № 2. – С. 84–91.
14. Mangwani N. Bacterial Quorum Sensing: Functional Features and Potential Applications in Biotechnology / H. R. Dash, A. Chauhan, S. Das // J. Mol. Microbiol Biotechnol – 2012. – №22. – P. 215–227.

HIGH DISPERSED SILICA APPLICABILITY AS A CARRIER OF THE BIOSENSOR SENSITIVE ELEMENT

Morozkina E. V., Shemshedinova E. Sh., Abduramanova E. R., Katsev A. M.

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

E-mail: emorozkina@mail.ru

Recently a special attention to luminescent biosensors based on immobilized photobacterial cells has been paid. The selection of a carrier to immobilize luminous bacteria is an important step in the biosensor sensitive element creation. Highly dispersed amorphous silica is a perspective sorbent for the luminescent bacteria immobilization.

The aim of this work was to study the highly dispersed silica adsorption activity to the bioluminescent bacteria *Photobacterium leiognathi* Sh1 and the applicability of this carrier for the biosensor sensitive element creation.

It has been established that highly dispersed silica does not affect the vital activity of bioluminescent bacteria. Samples of *P. leiognathi* Sh1 bound by a carrier of different concentrations were obtained. Concentration of photobacteria in highly dispersed silica was accompanied by an increase in their luminescence comparing to control. Photographic images of the luminescence of samples containing free and sorbent-bound luminescent bacteria were obtained. The visual evaluation of the obtained samples correlates with the data of the bioluminescence study and shows an increase in intensity of the light emission of the sediment relative to the control.

According to the difference in the optical density of the control sample and the superposition liquid of the obtained samples the concentration of bacteria on the sorbent and its sorption capacity in relation to this type of microorganisms were determined. Specific luminescence parameters based on the optical density and bioluminescence data were calculated.

The sensitivity of free and immobilized bacteria on highly dispersed silica to the $ZnSO_4$, $K_2Cr_2O_7$ and C_2H_5OH was studied. To assess the sensitivity of obtained samples the effective concentration of substance that causes 50 % reduction of bacterial suspension bioluminescence (EC_{50}) was determined. It was established that immobilized and free cells of luminescent bacteria indicate similar sensitivity to the selected toxicants.

Keywords: adsorption immobilization, *Photobacterium leiognathi* Sh1, bioluminescence, high-dispersed silica, sensitivity.

References

1. Deryabin D. G., *Bacterial bioluminescence: fundamental and applied aspects*, 248 p. (Science, Moscow, 2009). (in Russ).
2. Efremenko E. N., Senko O. V., Aleskerova L. E., Alenina K. A., Mazhul M. M., Ismailov A. D., Biosensors based on the luminous bacteria *Photobacterium phosphoreum* immobilized in polyvinyl alcohol cryogel for the monitoring of ecotoxicants, *Applied Biochemistry and Microbiology*, **50** (5), 477, (2014). (in Russ).
3. Ismailov A. D., Aleskerova L. E., Photobiosensors based on luminous bacteria, *Biochemistry*, **80** (6), 867, (2015). (in Russ).
4. Kudryashov A. P. *Biosensors device: Course of lecture*, 113 p. (BSU, Minsk, 2003). (in Russ).

5. Chuyko A. A. *Medical Chemistry and Clinical Application of Silicon Dioxide*, 415 p. (Naukova Dumka, Kiev, 2003) (in Russ).
6. Pogorely V. K., Patterns of adsorption of natural bioactive compounds on the surface of silica nanodispersed, *Surface*, **1** (16), 322 (2009)
7. Katsev A. M., Makemson J., Identification of luminous bacteria, isolated from Black and Azov seas, *Scientific Notes of V. I. Vernads TNU, series «Biology, chemistry»*, **19** (4), 111, (2006). (in Russ).
8. Abduramanova E. R., Naumova N. V., Derzyan L. M., Katsev A. M., Functional characteristics of free and immobilized photobacterial of Black and Azov seas, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University, series «Biology, chemistry»*, **4** (70), 179, (2018). (in Russ).
9. Iler R. *Chemistry of silica*, 416 p. (Mir, Moscow, 1982). (in Russ).
10. Seregina N. V., Chestnova T. V., Zherebtsova V. A., Khromushin V. A., Review of biophysical features of microbial adhesion, *Journal of New Medical Technologies*, **15** (3), 175, (2008). (in Russ).
11. Michelini E., Roda A., Staying alive: new perspectives on cell immobilization for biosensing purposes, *Anal Bioanal Chem*, **402**, 1785, (2012).
12. Alvarez G. S., Foglia M. L., Copello G. J., Desimone M. F., Diaz L. E., Effect of various parameters on viability and growth of bacteria immobilized in sol-gel-derived silica matrices, *Applied Microbial Biotechnology*, **82**, 639 (2009)
13. Krupskaya T. V., Gunko V. M., Barvinchenko V. N., Turov V. V., Shulga O. V., Interaction of silica with cell surface of yeast and state of interphase water in the zone of their contact, *Ukrainian Chemical Journal*, **74**, (2), 84, (2008). (in Russ).
14. Mangwani N., Dash H. R., Chauhan A., Das S., Bacterial Quorum Sensing: functional features and potential applications in biotechnology, *Journal Mol Microbiol Biotechnol*, **22**, 215 (2012).

УДК 004.942:536.75:544.4: 547.913:577.31

ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИРОДНОГО БИОСИНТЕЗА МОНОТЕРПЕНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ РАСТЕНИЙ РОДА ARTEMISIA

Устименко В. Н., Ходаков Г. В.

*Академия биоресурсов и природопользования (структурное подразделение) ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: uvn@mail.ru*

Представлена динамика накопления в массовых долях алифатических, моноциклических и бициклических монотерпенов эфирных масел растений рода *Artemisia* (*Artemisia abrotanum*, *A. dracunculus*, *A. annua*, *A. scoraria*, *A. taurica*, *A. glauca*). Сопоставлены термодинамические характеристики алифатических терпенов для изопреновых кратностей: моно-, сескви-, ди-, сестер-, три-, тетратерпенов, позволяющие для каждой из них выявить набор возможных циклических структур.

Для каждого растения составлены кинетические модели накопления монотерпеновых продуктов в получаемом масле на основе разработанной авторами единой кинетической модели образования монотерпенов за счёт химических превращений глюкозы, мевалоната и изопрена на основе собственных экспериментальных и литературных данных.

Использовалась авторская кинетическая схема их биосинтеза в потоке на основе одностадийного сочленения карбкатиона изопентила, карбкатиона диметилаллила и изопрена. Ее математическое описание в виде системы трёх дифференциальных уравнений с тремя переменными позволило объяснить полученные экспериментальные данные накопления продуктов биосинтеза по фазам вегетации растений. В представленной работе экспериментальные данные сопоставлены с графическими решениями этих уравнений с учётом рассеивания продуктов во внешнюю среду, для чего использовались методы регрессионного анализа с привлечением критерия согласия Фишера.

Предлагается использовать разработанную модель при селекционном планировании и выборе сроков сбора растений для извлечения из них эфирного масла с целевым составом и композиций из масел для промышленных нужд, для прогнозирования особенностей вегетации растений и как основу исследований природного биосинтеза монотерпеновых углеводородов в формальной кинетике.

Ключевые слова: *Artemisia*, термодинамика терпенов, регрессионный анализ, биосинтез монотерпенов, фазы вегетации, степень циклизации монотерпенов, кинетическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплен огромный фактический материал воспроизводства монотерпеновых соединений в процессе вегетации различных эфирноносных растений. Однако отсутствуют объединяющие подходы в анализе многочисленного экспериментального набора индивидуальных веществ терпеновой природы для каждого изучаемого растительного вида. Статья является продолжением проводимых нами исследований [1–5] с целью углубления представлений об

особенностях природных процессов биосинтеза монотерпеновых компонентов эфирных масел растений рода *Artemisia*. Для осуществления поставленной цели решались следующие задачи:

а) выявить взаимосвязь термодинамических характеристик терпеновых углеводородов с существующим количеством углеродных циклов в молекуле для каждой изопреновой кратности: моно-, сескви-, ди-, сестер-, три-, тетратерпенов;

б) уточнить кинетические параметры природного биосинтеза монотерпеновых углеводородов с учетом их рассеивания во внешнюю среду;

в) ввести в модель наряду с фазой вегетации фактор времени для расчёта оптимальных сроков сбора растений с требуемым составом эфирных масел;

г) проверить кинетические модели на соответствие экспериментальным данным методами математической статистики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эфирные масла растений *Artemisia abrotanum*, *A. dracuncululus*, *A. annua*, *A. scoparia*, *A. taurica* ранее были получены методом гидродистилляции с разделением каждого образца масла на компоненты методом хромато-масс-спектрометрии на приборе Agilent Technologies 6890 [1] по четырём фазам вегетации растений с установлением качественного и количественного состава их компонентов. Для растений *Artemisia glauca* использованы литературные данные из источника [6]. Компоненты эфирных масел этих растений распределялись последовательно по времени выхода из хроматографической колонки за счет адсорбционных особенностей молекул. Нами же среди них выбраны только монотерпеновые компоненты, которые далее перераспределялись по степени циклизации на три группы (алифатические, моно- и бициклические). Для каждой степени циклизации получена общая массовая доля включенных в неё индивидуальных компонентов. Такие расчёты проведены по всем фазам вегетации каждого исследуемого растения (табл. 1): начало вегетации (I), бутонизации (II), массового цветения (III), созревания семян (IV).

Расчитаны массовые доли накопления в изучаемых растениях не конкретных соединений, которые имеют видоспецифический характер, а обобщающих структур: алифатических (**X2**), моноциклических (**Y2**) и бициклических (**Z**). Полученные результаты можно экстраполировать на все эфирноносные растения без исключения, так как они соответствуют углеводородной основе монотерпеновых углеводородов, и выявить для них общие структурные, количественные и кинетические закономерности.

Таблица 1

Качественное и количественное содержание компонентов эфирного масла растений рода *Artemisia* на протяжении всей вегетации (фазы: I–IV), распределённых по степени циклизации

Тип циклизации монотерпеновых углеводородов	Перечень монотерпеновых компонентов эфирных масел растений рода <i>Artemisia</i>	Массовая доля группы монотерпеновых по фазе вегетации			
		I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6
<i>A. abrotanum</i>					
алифатические (X2)	мирцен; транс-оцимен; линалоол; геранилизобутират.	0,00	0,01	0,01	0,01
моноциклические (Y2)	α -терпинен; п-цимен; лимонен; 1,8-цинеол; γ -терпинен; терпинолен; п-мент-2-ен-1-ол; п-мент-1-ен-8-ол; терпинен-4-ол; α -терпинеол; мент-1,5-диен-7-ол; цис-карвон; транс-карвеол; α -терпенилацетат; транс-карвеил-ацетат	0,53	<u>0,25</u>	<u>0,33</u>	0,35
бициклические (Z)	трициклен; α -пинен; камфен; сабинен; β -пинен; транс-сабинен-гидрат; циссабиненгидрат; камфора; сабинокетон; 2(10)-пинен-3-он; вербенол; борнеол; пино-карвон; α -туйеналь; миртенол; миртеналь; 3(10)-карен-2-ол; вербенолацетат	0,47	<u>0,74</u>	<u>0,66</u>	0,64
<i>A. annua</i>					
алифатические (X2)	мирцен; йомоги спирт; дигидротагетол; артемизия кетон; артемизия спирт; 2-метил-6-метилен-1,7-октадиен-3-он; 2,6-диметил-1,5,7-октатриен-3-ол; лавандулол; 3,3,6-триметил-1,5-гептадиен-4-он.	<u>0,40</u>	0,58	<u>0,68</u>	0,56

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
моноциклические (Y2)	α -терпинен; лимонен; 1,8-цинеол; γ -терпинен; 2,8-ментадиен-1-ол; терпинен-4-ол; α -терпинеол; тимол; карвакрол.	0,11	0,16	<u>0,06</u>	0,19
бициклические (Z)	α -пинен; сабинен; β -пинен; транс-сабиненгидрат; камфен; цис-сабиненгидрат; α -туйон; транс-пинокарвеол; камфора; пинокарвон; 2(10)-пинен-3-он; борнеол; миртеналь.	<u>0,49</u>	0,26	<u>0,26</u>	0,25
<i>A. dracuncululus</i>					
алифатические (X2)	мирцен; транс-оцимен; цис-оцимен; артемизия кетон; линалоол; алло-оцимен; цитронеллаль; цитронеллол; линалилацетат; метилгеранат; цитронеллилацетат; нерилацетат; геранилацетат.	0,32	0,35	0,19	0,23
моноциклические (Y2)	α -терпинен; п-цимен; лимонен; γ -терпинен; терпинолен; цис-мент-2-ен-1-ол; транс-мент-2-ен-1-ол; терпинен-4-ол; α -терпинеол; транс-пиперитол; цис-пиперитол; тимол; карвакрол.	0,13	0,12	0,35	0,22
бициклические (Z)	α -туйен; α -пинен; сабинен; β -пинен; транс-сабиненгидрат; цис-сабиненгидрат; камфора; борнилацетат.	0,55	0,53	0,46	0,55
<i>A. glauca</i>					
алифатические (X2)	артемизия кетон.	0,00	0,01	0,01	0,00
моноциклические (Y2)	лимонен; β -феландрен; цинеол; γ -терпинен, п-цимен; терпинолен.	0,79	0,61	0,71	0,84

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
бициклические (Z)	α -пинен; камфен; β -пинен; сабинен; Δ^3 -карен; α -туйон.	0,20	0,38	0,28	0,16
<i>A. taurica</i>					
алифатические (X2)	мирцен; 5(E)-2,6-диметил- окта-1,5,7-триен-3-ен.	0,00	0,00	0,01	0,03
моноциклические (Y2)	α -цимен; лимонен; 1,8- цинеол; γ -терпинен; терпинен-4-ол; α -терпинеол; цис- α -мент-2-ен-7-ол; куминовый спирт; α - изопропил-бензальдегид; 1,5,5-триметил-6-метил- циклогексен-1; карвон; тимол.	0,13	<u>0,09</u>	<u>0,07</u>	0,06
бициклические (Z)	α -пинен; камфен; сабинен; β -пинен; карен; α -туйон; β - туйон; 2(3)- туйон-10-он; цис- пинокарвеол; транс- пинокарвеол; сабинол; камфора; изотуйол; сабинокетон; пинокарвон; вербенол; 2(10)-пинен-3-он; борнеол; α -туйеналь; миртенол.	0,87	<u>0,91</u>	<u>0,92</u>	0,91
<i>A. scoparia</i>					
алифатические (X2)	мирцен; транс-оцимен; цис- оцимен; линалоол.	0,28	0,16	<u>0,32</u>	0,31
моноциклические (Y2)	лимонен; 1,8-цинеол; тимол.	0,42	0,32	<u>0,20</u>	0,13
бициклические (Z)	α -пинен; сабинен; β -пинен.	0,30	0,52	0,48	0,56

Примечание: подчеркнуты уточнённые значения величин, которые были опубликованы ранее в работе [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Термодинамика природного биосинтеза терпенов

Биосинтез терпенов приводит к образованию собственного количества циклов в молекуле для каждой изопреновой кратности (табл. 2).

К примеру, для сестертерпенов до недавнего времени были известны только отдельные представители. Усовершенствование методов исследования природных

соединений позволило идентифицировать вещества в очень малых количествах и расширить область поиска природных соединений в морских организмах и микроорганизмах. В результате данный тип терпенов определен в качестве самостоятельной полновесной группы с обозначившейся классификацией. Эта классификация построена по тому же принципу, что и в других терпеновых группах — по степени циклизации углеродного скелета, что позволило включить алифатические и моноциклические структуры в данную работу как экспериментально обнаруженные в отличие от предыдущей [6], где они были отнесены к гипотетическим.

Таблица 2

Распределение углеродных циклов в молекулах терпенов по изопреновым кратностям [7].

Изопреновая кратность	Терпен	Количество атомов углерода в молекуле терпена	Количество углеродных циклов в молекуле терпена, включая алифатическую структуру (степень циклизации)
1	2	3	4
1	геми	5	1 (алифатические)
2	моно	10	4 (алифатические, моно-, би- и трициклические)
3	сескви	15	5 (алифатические, моно-, би-три- и тетрациклические)
4	ди	20	5 (а-, моно-, би-, три- и тетрациклические)
5	сестер	25	5 (алифатические, моно-, би-, три- и тетрациклические)
6	три	30	3 (алифатические, тетра- и пентациклические)
7	-	35	в природе не обнаружены
8	тетра	40	3 (алифатические, моно- и бициклические)
9 и более	поли	от 45 и выше	1 (алифатические)

В предшествующей работе [5] представлен расчет энтропии образования ациклических монотерпенов, который коррелирует со степенью циклизации, однако существуют некоторые исключения, которые указаны в самой работе. Поэтому из вышесказанного в представленной работе нами приводится целостная картина зависимости степени циклизации от энтропии образования алифатических терпенов за счет включения новых данных. В предшествующей работе [5] произведён расчет энтропии разрушения структуры на исходные составляющие, но согласно закону Лавуазье-Лапласа, процесс образования окончательной структуры из исходных характеризуется той же величиной энтропии, имеющей противоположный знак. В результате, окончательные значения энтропии представлены в таблице 3 (столбец 5), и далее они переведены в диаграмму (рис. 1) с указанием в ней значений степени циклизации для каждой изопреновой кратности.

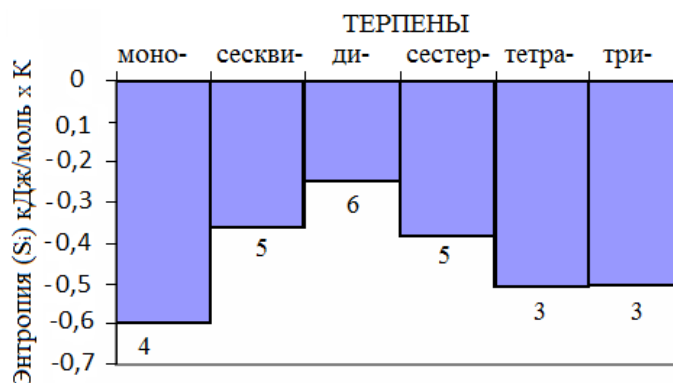


Рис. 1. Диаграмма распределения расчётных величин энтропий образования ациклических терпенов (численные значения в диаграмме являются величинами степени циклизации) по степени их циклизации.

В результате степень циклизации для каждой изопреновой кратности является функцией от величины изменения энтропии образования алифатического терпена (ΔS_i), включенного в данную кратность. Степень циклизации равная трём (рис. 1) соответствует величине ΔS_i в пределах от $-0,51$ до $-0,50$ кДж/(моль·К) (табл. 3). Такая величина ΔS_i характерна для тритерпенов, имеющих алифатические, тетра- и пентациклические структуры, а также для тетратерпенов (алифатические, моно- и бициклические структуры) (табл. 2). Величина ΔS_i от $-0,38$ до $-0,36$ кДж/(моль·К) (табл. 3) соответствует степени циклизации, равной пяти (рис. 1). Такой величиной ΔS_i обладают сескви- и сестертерпены, оба включают алифатические, моно-, би-, три- и тетрациклические структуры (табл. 2). Наибольшая степень циклизации, равная шести (рис. 1), соответствует величине ΔS_i , равной $-0,24$ кДж/(моль·К) (табл. 3), такой величиной энтропии обладают лишь дитерпены, в то же время экспериментально установлено пять углеродных циклов в молекуле (алифатические, моно-, би-, три- и тетрациклические структуры) (табл. 2). Таким образом, наблюдается жёсткая зависимость количества циклических структур от

величины расчётной энтропии. Прослеживается физико-химическое ограничение, известное в термехимии под названием термодинамический запрет, закономерности которого используются в практике промышленного и лабораторного синтеза, и которое следует распространить на биосинтетические процессы образования углеродного остова терпенов в живой природе. Термодинамически возможное количество циклических структур для всех терпеновых углеводородов, кроме дитерпенов, совпадает с реально обнаруженными в природе. Для дитерпенов теоретически должно существовать шесть циклов в молекуле, однако экспериментально обнаружено лишь пять (табл. 2). По-видимому, разногласие связано с нехваткой данных. В результате, рассчитанная нами энтропия однозначно соответствует степени циклизации, и представляется возможность предсказывать существующие и экспериментально необнаруженные химические структуры. К примеру, для дитерпенов можно спрогнозировать существование пентациклических структур (табл. 2, рис. 1). Основные степени циклизации для тритерпеновых углеводородов – это алифатические, тетра- и пентациклические, их количество соответствует трём, что хорошо согласуется с расчётными величинами изменения энтропии при образовании алифатических структур (табл. 3). Однако, кроме них, экспериментально установлены би- и трициклические тритерпены, но это продукты вторичных преобразований, которые являются результатом разрушения структур с более высокой степенью циклизации.

Таблица 3
Расчётная величина энтропии образования ациклических терпенов с уточнением данных по отношению к опубликованным ранее в работе [5].

i	ΔH_i кДж/моль	ΔG_i кДж/моль	$\Delta(H_i - G_i)$ кДж/моль	ΔS_i КДЖ/МОЛЬ·К
1	2	3	4	5
1 (<i>моно</i>)	47,8	224	-176,2	-0,59
2 (<i>сескви</i>)	46,8	154	-107,2	-0,36
3 (<i>ди</i>)	45,8	120	-74,2	-0,25
4 (<i>сестер</i>)	45,8	159	-113,2	-0,38
5 (<i>три</i>)	43,9	192	-148,1	-0,50
6 (<i>тетра</i>)	43,7	197	-153,3	-0,51

Таким образом, степень циклизации для каждой изопреновой кратности (моно-, сескви-, дитерпены и т.д.) напрямую связана с термодинамическими величинами образования алифатических терпенов, а разрешенный термодинамическими ограничениями набор химических структур углеродного остова терпенов растительного происхождения формирует общую зависимость пирамидального вида (табл. 4).

Кинетика природного биосинтеза монотерпенов

Термодинамические расчёты приводят к тому, что монотерпены могут существовать только в виде четырех химических структур: алифатические, моно-, би- и трициклические (табл. 1, рис. 1). Причём, для трициклических структур экспериментально установлен только один представитель – трициклен, который по химической структуре близок к бициклическому борнану. Очевидно, трициклен является частным результатом внутримолекулярной стабилизации карбкатиона, который образуется по пути биосинтеза производных молекулы борнана. Таким образом, кинетическая модель биосинтеза монотерпенов должна включать три условных продукта: алифатические, моно- и бициклические производные.

Была составлена кинетическая схема природного биосинтеза монотерпенов (рис. 2), которая позволила выявить количественные закономерности накопления монотерпеновых углеводородов по фазам вегетации растений (табл. 1).

В схеме отражено накопление в изучаемых растениях не конкретных веществ, а циклических структур (алифатических, моноциклических и бициклических) (табл. 1) за счёт соответствующего одностадийного сочленения карбкатиона диметилаллила (**X**), карбкатиона изопентила (**Y**) и изопрена (**B**) – рис. 3–5.

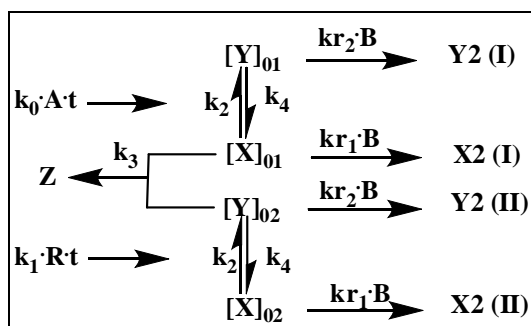


Рис. 2. Кинетическая схема биосинтеза терпеновых углеводородов [5]:
X2 – алифатические монотерпены; **Y2** – моноциклические монотерпены;
Z – бициклические монотерпены; **X** – карбкатион диметилаллила; **Y** – карбкатион изопентила; **A** – глюкоза; **R** – мевалонат; **B** – изопрен; k_i , kr_i : кинетические константы.

Литературные данные [8–10] позволяют в качестве исходных веществ использовать глюкозу и мевалонат, которые через промежуточные карбкатионы изопентила и диметилаллила приводят к образованию всех типов монотерпеновых углеводородов.

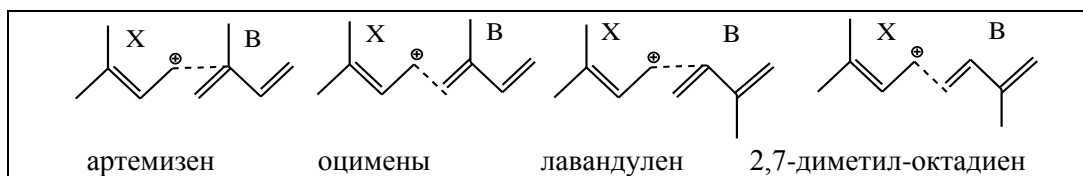


Рис. 3. Типы сочленения карбкатиона диметилаллила (X) и изопрена (B) с образованием некоторых алифатических монотерпеновых углеводородов (X2)

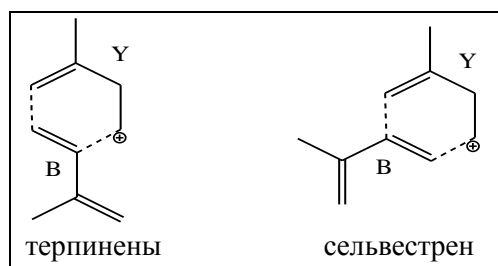


Рис. 4. Типы сочленения карбкатиона изопентила (Y) и изопрена (B) с образованием некоторых моноциклических монотерпеновых углеводородов (Y2)

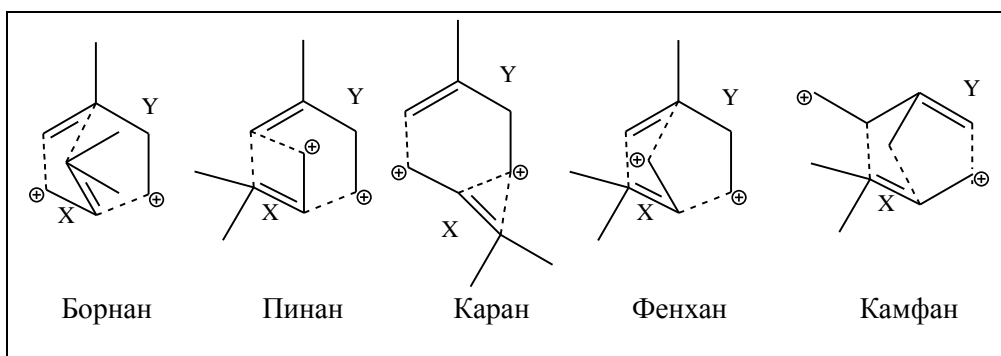


Рис. 5. Типы сочленения карбкатиона диметилаллила (X) и карбкатиона изопентила (Y) с образованием некоторых бициклических монотерпеновых углеводородов (Z)

Для выявления кинетических и концентрационных соотношений между представленными в схеме (рис. 2) биоагентами сделаны некоторые допущения. Образование промежуточных продуктов X и Y происходит двумя путями: из глюкозы (A) через пируват и через мевалонат (R) [11]. Последующее сочленение каждого из них с изопреном (B) приводит к получению монотерпеновых углеводородов алифатического (X2) (рис. 3) и моноциклического (Y2) (рис. 4) строения из глюкозы через пируват для I-го ряда, а также через мевалонат для II-го ряда (рис. 5). Образование бициклических монотерпенов (Z) (рис. 5)

осуществляется за счёт одностадийного сочленения **X** и **Y** из разных биосинтетических рядов (**X** – из I ряда, **Y** – из II ряда), связывающие оба пути между собой (рис. 2). Такое сочленение хорошо согласуется с экспериментальными данными по обнаружению одной радиоактивной метки из [2-¹⁴C]-мевалоновой кислоты в шестом положении для камфоры и указывает на включение её преимущественно через **Y** [12]. К тому же известно, что образование **Y** происходит двумя путями [13].

Для растений рода *Artemisia* в работе составлялись кинетические модели с уточнением кинетических параметров и выходных данных по биосинтезу трёх структур монотерпеновых углеводов (алифатических, моно-, бициклических), обнаруженных в этих растениях.

Использовалась авторская кинетическая схема природного биосинтеза монотерпеновых углеводов в потоке (рис. 2), для которой ранее была составлена математическая модель в виде системы трёх дифференциальных уравнений с тремя переменными (1)–(3) [5]. Для выполнения алгоритма их решения производился выбор начальных условий по фактору времени (**t**₀), содержанию монотерпеновых углеводов (**X**₂₀, **Y**₂₀, **Z**₀), параметрическим значениям величин содержания веществ **A**, **R**, **B** и констант **k**_i, **kr**_i (табл. 4). Содержание вещества **A** было принято за единичную, т.е. концентрации всех реагентов по отношению к нему являются безразмерными. Фактор времени также величина безразмерная в единицах времени периода I фазы вегетации.

Система дифференциальных уравнений (1) решалась численным методом Рунге-Кутты четвёртого порядка [14, 15]. При расчётах содержание в растениях глюкозы (**A**), мевалоната (**R**) и изопрена (**B**) принято постоянным по времени, и их образование описывается уравнениями нулевого порядка, тогда как синтез **X2** и **Y2** с участием изопрена (**B**) относится к реакциям псевдо-первого порядка, а синтез **Z** относится к реакциям второго порядка. Промежуточные продукты **X** и **Y** в каждом ряду находятся в равновесных (стационарных) соотношениях.

К этим уравнениям добавлены три алгебраических уравнения для расчёта остаточного содержания компонентов **X(ост.)**, **Y(ост.)**, **Z(ост.)** (3). Расчётные данные, последовательно получаемые по уравнениям (2), (3), подставлялись в уравнения (4) для построения соответствующих графических линий регрессии в координатах "массовая доля–время" (рис. 6), отражающих динамику репродукции монотерпеновых углеводов в жизненном цикле изучаемых растений рода *Artemisia* (табл. 1). Методом подбора величин кинетических параметров уточнялись решения всех этих уравнений по критерию наилучшего соответствия хода линий регрессии расположению экспериментальных данных (по составу монотерпеновых углеводов) согласно таблице 1 на том же графике (рис. 6). Полученные графики представляют собой неформализованные модели к индивидуальным особенностям динамики биосинтеза в каждом растении. Критерием наилучшего соответствия линий регрессии расположению экспериментальных данных выбран критерий согласия Фишера [16]. Подобранные таким образом начальные условия и параметры кинетических уравнений (1)–(3) при их решении применительно к экспериментальным данным по уравнениям (4) представлены в таблице 4.

$$\frac{dX_2}{dt} \cong \frac{k_{r_1} \cdot (B - X_2)}{1 + \frac{k_{r_1} \cdot (B - X_2)}{k_2}} \cdot [X] \cong \frac{k_2 \cdot k_{r_1} (B - X_2)}{k_2 + k_{r_1} \cdot (B - X_2)} \cdot \left\{ \frac{k_0 \cdot A + k_1 \cdot R}{k_{24} + 1} \cdot t - Z \right\} \quad (1)$$

$$\frac{dY_2}{dt} \cong k_{24} \cdot \frac{k_{r_2} \cdot (B - Y_2)}{1 + \frac{k_{r_2} \cdot (B - Y_2)}{k_4}} \cdot [X] \cong k_{24} \cdot \frac{k_4 \cdot k_{r_2} (B - Y_2)}{k_4 + k_{r_2} \cdot (B - Y_2)} \cdot \left\{ \frac{k_0 \cdot A + k_1 \cdot R}{k_{24} + 1} \cdot t - Z \right\}$$

$$\frac{dZ}{dt} \cong k_3 \cdot \left(\frac{k_0 \cdot A \cdot t}{k_{24} + 1} - Z \right) \cdot \left(\frac{k_1 \cdot R \cdot t}{k_{24} + 1} - Z \right)$$

$$\text{где} \quad [X]_{01} + [X]_{02} \equiv [X] \quad (2)$$

$$[Y]_{01} + [Y]_{02} \equiv [Y]$$

Остаточное содержание монотерпеновых в образцах растений по модельным расчётам определялось по уравнениям (3):

$$X_i(\text{ост.}) \equiv X_{2i} - v_x \cdot t_i \quad (3)$$

$$Y_i(\text{ост.}) \equiv Y_{2i} - v_y \cdot t_i$$

$$Z_i(\text{ост.}) \equiv Z_i - v_z \cdot t_i$$

где X_{2i} , Y_{2i} , Z_i – решения системы уравнений (1); v_x , v_y , v_z – это скорости рассеивания монотерпеновых углеводов в окружающую среду, соответственно; t_i – безразмерное время в единицах периода I фазы вегетации.

Массовые доли остаточного содержания типов монотерпеновых углеводов (w_{xi} , w_{yi} , w_{zi}) в образцах растений как по экспериментальным данным, так и по модельным расчётам определялись по уравнениям (4):

$$w_{x_i}(\text{ост.}) \equiv \frac{X_i(\text{ост.})}{X_i(\text{ост.}) + Y_i(\text{ост.}) + Z_i(\text{ост.})} \quad (4)$$

$$w_{y_i}(\text{ост.}) \equiv \frac{Y_i(\text{ост.})}{X_i(\text{ост.}) + Y_i(\text{ост.}) + Z_i(\text{ост.})}$$

$$w_{z_i}(\text{ост.}) \equiv \frac{Z_i(\text{ост.})}{X_i(\text{ост.}) + Y_i(\text{ост.}) + Z_i(\text{ост.})}$$

Представленные рисунки ба–бе представляют собой графические модели динамики продуктивности исследованных растений по типам монотерпеновых углеводов.

Для проверки адекватности созданных моделей экспериментальным данным использовался известный алгоритм расчётов [16, с. 74; 17, с. 35–40].

1 шаг. Расчёт дисперсии адекватности $s^2(\text{ад})$:

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [w_i(\text{эксп.}) - w_i(\text{расч.})]^2}{n - L} \quad (5)$$

где $n-L$ — число степеней свободы в рассчитываемой регрессии, — оно составило $4-1=3$;

$w_{\text{расч.}}$ — рассчитанные значения по линии регрессии;

$w_{\text{эксп.}}$ — экспериментальные значения косвенных измерений в четырёх фазах вегетации.

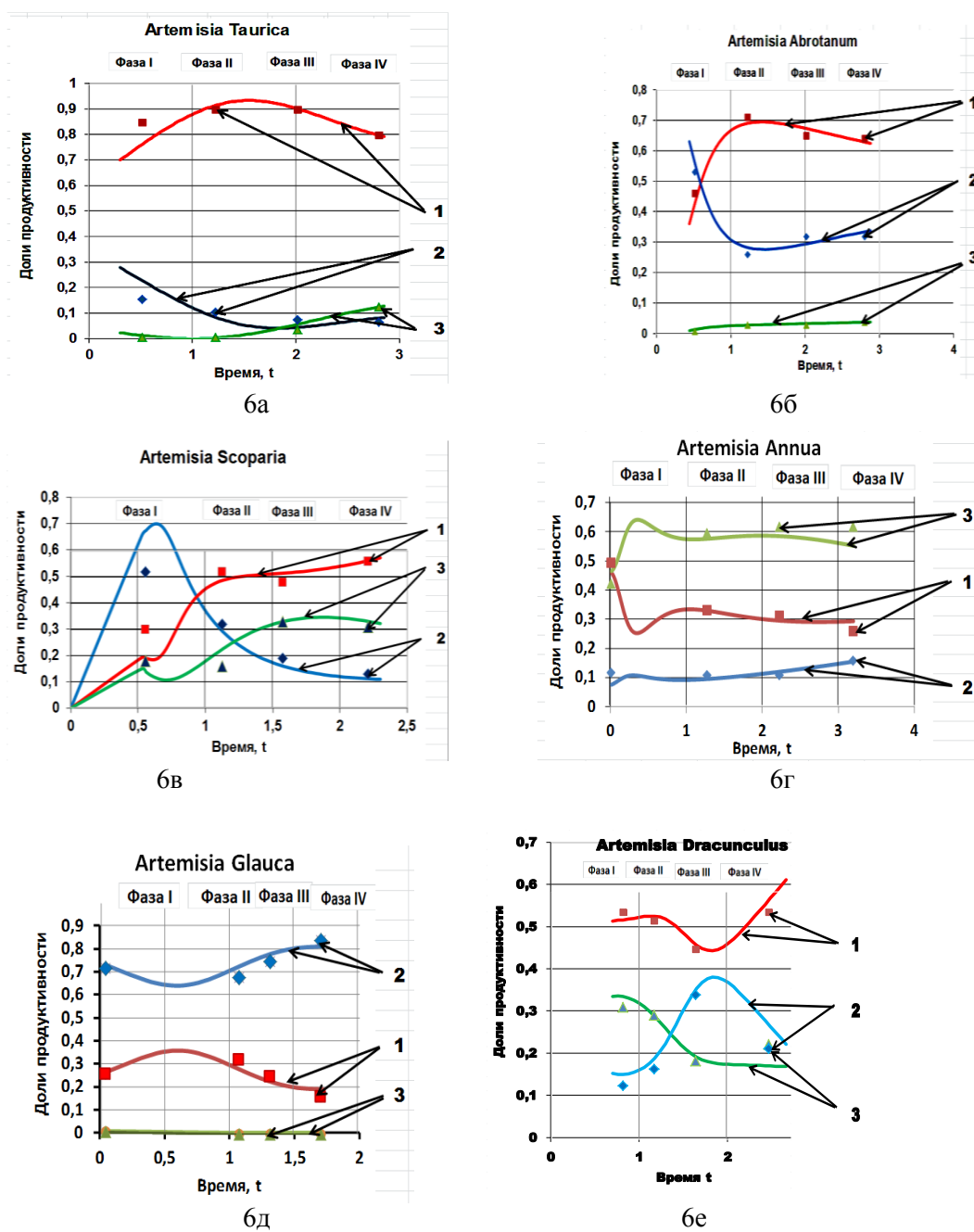


Рис. 6. Совмещённые экспериментальные данные остаточного содержания алифатических, моно- и бициклических монотерпенов у растений рода Artemisia

(табл. 1) и рассчитанных линий регрессии согласно численного решения кинетических уравнений (2)–(4).

Доли продуктивности: 1 – для бициклических монотерпенов (w_{zi}); 2 – для моноциклических монотерпенов (w_{yi}); 3 – для алифатических монотерпенов (w_{xi})

2 шаг. Расчёт дисперсии воспроизводимости $s^2(\text{воспр.})$:

для расчёта использовались рекомендации по определению погрешностей косвенных измерений [18–21], поскольку остаточное содержание монотерпеновых углеводородов согласно формулам (4) определялось по данным прямых измерений на хроматографе.

Таблица 4
Начальные условия и параметры кинетических уравнений (1)–(3) при их решении применительно к экспериментальным данным

Параметры в кинетических уравнениях	Растительные виды рода <i>Artemisia</i>					
	<i>A. abrotanum</i>	<i>A. dracunculus</i>	<i>A. annua</i>	<i>A. scoparia</i>	<i>A. taurica</i>	<i>A. glauca</i>
1	2	3	4	5	6	7
Начальные условия						
X_{20}	<u>0</u>	<u>0,450</u>	<u>0,00125</u>	<u>0,0065</u>	<u>0,025</u>	0,0075
Y_{20}	<u>0,075</u>	<u>0,500</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,025</u>	<u>0,215</u>	0,7250
Z_0	<u>0,0125</u>	<u>0,885</u>	<u>0,00125</u>	0,0075	<u>0,375</u>	0,250
t_0	<u>0,125</u>	<u>0,045</u>	<u>$1,25 \cdot 10^{-4}$</u>	0	0	0
Содержание исходных веществ на единицу глюкозы (г/г)						
A	1	1	1	1	1	1
R	<u>0,75</u>	<u>0,85</u>	<u>0,85</u>	0,85	<u>0,75</u>	0,75
B	<u>1,75</u>	<u>0,125</u>	<u>0,125</u>	0,125	<u>0,65</u>	0,95
Кинетические константы						
k_0	<u>1,500</u>	<u>6,85</u>	<u>1,725</u>	5,25	<u>1,50</u>	1,50
k_1	<u>0,2512</u>	<u>0,512</u>	<u>0,212</u>	0,112	<u>0,7512</u>	0,7512
k_2	<u>7,500</u>	<u>8,500</u>	<u>1,25</u>	8,500	<u>6,125</u>	6,125
k_3	<u>20,00</u>	<u>1,750</u>	<u>3,00</u>	25,85	<u>0,500</u>	0,250
k_4	<u>1,500</u>	<u>3,375</u>	<u>10,375</u>	4,375	<u>1,500</u>	1,500
kr_1	<u>0,025</u>	<u>0,150</u>	<u>0,225</u>	0,785	<u>0,200</u>	0,025
kr_2	<u>0,125</u>	<u>0,850</u>	<u>0,250</u>	0,025	<u>0,175</u>	6,950
k_{24}	<u>5,000</u>	<u>2,519</u>	<u>0,120</u>	1,943	<u>4,083</u>	4,083
Скорость рассеивания монотерпенов в окружающую среду (t^{-1})						
s_1	<u>$5,6 \cdot 10^{-4}$</u>	<u>0,045</u>	<u>0,0015</u>	<u>0,030</u>	<u>0,001</u>	0,0055
s_2	<u>0,120</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0,010</u>	<u>0,100</u>	0,0005
s_3	<u>0,0012</u>	<u>0,125</u>	<u>0,002</u>	<u>0,005</u>	<u>$7,5 \cdot 10^{-4}$</u>	0,025

Примечание: подчеркнуты уточнённые значения величин, которые были опубликованы ранее в работе [5].

Шаг 2а. Расчёт относительной погрешности $\delta^2(w_{\text{эксп.}})$ согласно закону накопления ошибок по формулам (8) и (9):

$$\delta^2(w_x) = \left(\frac{\Delta w_x}{w_x}\right)^2 = \left(\frac{1}{w_x}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\partial w_x}{\partial X} \cdot \Delta X(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_x}{\partial Y} \cdot \Delta Y(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_x}{\partial Z} \cdot \Delta Z(\text{ост.})\right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\delta^2(w_y) = \left(\frac{\Delta w_y}{w_y}\right)^2 = \left(\frac{1}{w_y}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\partial w_y}{\partial Y} \cdot \Delta Y(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_y}{\partial X} \cdot \Delta X(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_y}{\partial Z} \cdot \Delta Z(\text{ост.})\right)^2 \right]$$

$$\delta^2(w_z) = \left(\frac{\Delta w_z}{w_z}\right)^2 = \left(\frac{1}{w_z}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\partial w_z}{\partial Z} \cdot \Delta Z(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial Y} \cdot \Delta Y(\text{ост.})\right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial X} \cdot \Delta X(\text{ост.})\right)^2 \right]$$

Учитывая, что относительная погрешность хроматографа 5 % (по техническому паспорту):

$$\delta(\text{прибор}) = \frac{\Delta X(\text{ост.})}{X(\text{ост.})} = \frac{\Delta Y(\text{ост.})}{Y(\text{ост.})} = \frac{\Delta Z(\text{ост.})}{Z(\text{ост.})} = 0,05 \quad (7)$$

и после соответствующего дифференцирования формул (4), уравнения (6) преобразуются в расчётные формулы (8):

$$\delta^2(w_x) = \left(\frac{\Delta w_x}{w_x}\right)^2 = [\delta(\text{прибор})]^2 \cdot \left\{ [1 - w_x(\text{ост.})]^2 + w_y^2 + w_z^2 \right\} \quad (8)$$

$$\delta^2(w_y) = \left(\frac{\Delta w_y}{w_y}\right)^2 = [\delta(\text{прибор})]^2 \cdot \left\{ [1 - w_y(\text{ост.})]^2 + w_x^2 + w_z^2 \right\}$$

$$\delta^2(w_z) = \left(\frac{\Delta w_z}{w_z}\right)^2 = [\delta(\text{прибор})]^2 \cdot \left\{ [1 - w_z(\text{ост.})]^2 + w_x^2 + w_y^2 \right\}$$

Окончательно, косвенное измерение массовой доли для всех типов монотерпеновых в отдельной фазе вегетации по каждому растению (однократно измерялись спектры по всем видам монотерпеновых, расчёт значений $w_{\text{эксп}}$ велся по формулам (4)) оценивалось общей относительной погрешностью по формуле (9) [17, с. 35–40; 19]:

$$\delta^2[w(\text{ост.})] = \delta^2(w_x) + \delta^2(w_y) + \delta^2(w_z), \quad (9)$$

поскольку они взаимосвязаны формулой (4).

Шаг 2б. Расчёт дисперсии воспроизводимости проводился по данным $w_{\text{эксп}}$ для каждого типа монотерпеновых в четырёх фазах вегетации. Для однократных прямых измерений на приборе дисперсия значений измеряемой величины принимается равной её абсолютной погрешности согласно рекомендациям по обработке данных одноразовых измерений (серий параллельных измерений на хроматографе не производилось), – то же относится и к обработке данных косвенных измерений в формате "метода приведения" [16, с. 74; 18], т.е.:

$$\begin{aligned} s^2(w_x)_i &= \Delta w_{x_i}^2 = \delta^2[w(\text{ост.})]_i \cdot w_x^2(\text{ост.})_i \\ s^2(w_y)_i &= \Delta w_{y_i}^2 = \delta^2[w(\text{ост.})]_i \cdot w_y^2(\text{ост.})_i \\ s^2(w_z)_i &= \Delta w_{z_i}^2 = \delta^2[w(\text{ост.})]_i \cdot w_z^2(\text{ост.})_i \end{aligned} \quad (10)$$

где i – номер фазы вегетации. Тогда

$$\begin{aligned} s_x^2(\text{воспр.}) &= \sum_{i=1}^{i=n} s^2(w_x)_i / (n-1) \\ s_y^2(\text{воспр.}) &= \sum_{i=1}^{i=n} s^2(w_y)_i / (n-1) \\ s_z^2(\text{воспр.}) &= \sum_{i=1}^{i=n} s^2(w_z)_i / (n-1) \end{aligned} \quad (11)$$

3 шаг. Расчёт критерия Фишера (F) для каждого типа монотерпеновых также в четырёх фазах вегетации:

$$F_x = \frac{s_x^2(\text{ад.})}{s_x^2(\text{воспр.})}; \quad F_y = \frac{s_y^2(\text{ад.})}{s_y^2(\text{воспр.})}; \quad F_z = \frac{s_z^2(\text{ад.})}{s_z^2(\text{воспр.})} \quad (12)$$

4 шаг. Сравнение расчётного критерия Фишера с табличным.

Рассчитываемая регрессия по четырём фазам вегетации адекватна эксперименту, если расчётный критерий Фишера не превышает его табличное значение при выбранном уровне доверительной вероятности (p) и соответствующих степенях свободы ($f_{\text{ад}}$ и $f_{\text{воспр.}}$):

$$F = \frac{s^2(\text{ад.})}{s^2(\text{воспр.})} \leq F_{1-p}(f_{\text{ад.}}, f_{\text{воспр.}}) \quad (13)$$

где $F_{1-p}(f_{\text{ад.}}, f_{\text{воспр.}})$ – табличное значение критерия Фишера для $p = 0,05$ и чисел степеней свободы $f_{\text{ад}} = 2$ и $f_{\text{воспр.}} = 3$ ($F = 9,55$).

Выполнение алгоритма проверки адекватности даётся на примере модели для растения *Artemisia scoragia* (модель 6в, табл. 5).

Табличное значение критерия Фишера для рассмотренной модели составляет 9,55 (для уровня достоверности 95 %). Поскольку выполняется неравенство (13), то составленная модель (6в на рис. 6) адекватна экспериментальным данным.

Аналогично проведён регрессионный анализ для остальных пяти моделей. Результаты сведены в таблицу 6.

Поскольку выполняется неравенство (13), то составленные модели (6а–6е на рис. 6) адекватны экспериментальным данным, и начальные участки рассчитанных кривых продуктивности растений по типам монотерпеновых углеводов хорошо согласуются с совмещёнными экспериментальными значениями.

Таблица 5

Расчёты для проверки адекватности линий регрессии 1, 2, 3 (рис. 6в)
экспериментальным данным (табл. 1)

Фаза вегетации и время сбора данных относительно периода времени первой фазы вегетации			
0,56 (I)	1,13 (II)	1,58 (III)	2,21 (IV)
1	2	3	4
Содержание алифатических (X₂), w_x: экспериментальное / расчётное			
0,28 / 0,150	0,16 / 0,225	0,32 / 0,329	0,31 / 0,329
Дисперсия адекватности s ² (ад) линии 3 по формуле (5) равна 0,0027			
Относительные погрешности $\delta^2(w_x)$ по формуле (8)			
0,0026	0,0027	0,0018	0,0020
Содержание моноциклических (Y₂), w_y: экспериментальное / расчётное			
0,42 / 0,657	0,32 / 0,290	0,20 / 0,159	0,13 / 0,112
Дисперсия адекватности s ² (ад) линии 2 по формуле (5) равна 0,0105			
Относительные погрешности $\delta^2(w_y)$ по формуле (8)			
0,0009	0,0019	0,0025	0,0009
Содержание бициклических (Z), w_z: экспериментальное / расчётное			
0,30 / 0,193	0,52 / 0,485	0,48 / 0,512	0,56 / 0,559
Дисперсия адекватности s ² (ад) линии 1 по формуле (5) равна 0,0068			
Относительные погрешности $\delta^2(w_z)$ по формуле (8)			
0,0020	0,0021	0,0830	0,0008
Общая относительная погрешность $\delta^2[w(\text{ост.})]$ по формуле (9)			
0,0054	0,0067	0,0873	0,0037
Дисперсия воспроизводимости для алифатических (X ₂) по формулам (10), (11) (вдоль линии 3) равна 0,0034			
Критерий Фишера для линии регрессии у алифатических (X₂) по формулам (12) (вдоль линии 3) равен 0,81			
Дисперсия воспроизводимости для моноциклических (Y ₂) по формулам (10), (11) (вдоль линии 2) равна 0,0018			
Критерий Фишера для линии регрессии у моноциклических (Y₂) по формулам (12) (вдоль линии 2) равен 5,85			
Дисперсия воспроизводимости для бициклических (Z) по формулам (10), (11) (вдоль линии 1) равна 0,0079			
Критерий Фишера для линии регрессии у бициклических (Z) по формулам (12) (вдоль линии 1) равен 0,87			

Графические модели (рис. 6), отражают как решения дифференциальных уравнений (1)–(3) с их корректированием по уравнениям (4), так и указывают на возможность выявить кинетические константы биосинтеза для каждого растительного вида и выявить их индивидуальные различия (шесть видов имеют достаточно чёткие шесть графических различий), а также сопоставлять эффективные константы процессов в кинетической схеме (рис. 2) для объяснения этих различий.

Например, принятые в начальных условиях константы скорости производства бициклических монотерпенов (k_3) видов *A. annua* и *A. scoparia* значительно превышают их значения для других видов (табл. 1). Но кривые вида *A. annua* для (Z) не находятся вверху координатной плоскости, – прочие кинетические параметры для них в разы меньше, чем для вида *A. scoparia*, что и определяет различия хода кривых на графиках.

Также, из рисунков ба–бе следует наличие существенных изменений в соотношениях терпеновых в различных их группах при изменении периода (фазы) вегетации. Это можно использовать при планировании сроков сбора растений для извлечения из них масла, для генетического прогнозирования особенностей вегетации растений и в планировании композиций из масел для промышленных нужд.

Например, проведя хроматографический анализ на соотношение терпенов в трёх рассмотренных группах, следует сверить результаты с их положением на соответствующей графической модели и выявить относительное время на оси абсцисс, – далее следует поделить время отбора пробы для этого анализа на выявленное относительное время; результат покажет реальную величину периода первой фазы вегетации. После такого расчёта ось абсцисс достаточно просто пересчитывается в единицы реального времени. Перестроенная таким образом графическая модель позволяет не только уточнить периоды соответствующих вегетаций растения, но и спланировать сроки сбора его для отжимки масла с требуемым соотношением терпеновых углеводов.

Кроме того, данные таблиц 4 и 6 позволяют применение их для более детального предварительного расчёта параметров динамики этапов природного биосинтеза терпенов без проведения более точных лабораторных кинетических исследований в последующем. Таким образом, разработанные в статье алгоритмы для кинетических исследований представляется возможным использовать в теоретических разработках формальной кинетики различных биохимических процессов.

Таблица 6

Данные регрессионного анализа для моделей ба–бе (рис. 6)

Фазы вегетаци и	Растительные виды рода <i>Artemisia</i>					
	<i>A. abrotanum</i>	<i>A. dracun- culus</i>	<i>A. annua</i>	<i>A. scoparia</i>	<i>A. taurica</i>	<i>A. glauca</i>
1	2	3	4	5	6	7
Время отбора проб по отношению к периоду 1 фазы вегетации						
Фаза I	0,519	0,819	0,016	0,56	0,75	0,74
Фаза II	1,228	1,176	1,280	1,13	1,20	1,78
Фаза III	2,015	1,653	2,224	1,58	2,01	2,02
Фаза IV	2,802	2,487	3,200	2,21	2,76	2,42
Содержание алифатических (X₂), w_x: экспериментальное / расчётное						
Фаза I	0,00 0,014	0,32 0,334	0,40 0,465	0,28 0,150	0,00 0,004	0,01 0,007
Фаза II	0,01 0,028	0,30 0,287	0,58 0,576	0,16 0,225	0 0,003	0,01 0,0008
Фаза III	0,01 0,033	0,19 0,19	0,68 0,585	0,32 0,329	0,01 0,056	0,01 0,0007
Фаза IV	0,01 0,038	0,23 0,17	0,56 0,552	0,31 0,329	0,03 0,120	0,00 0,002
Дисперсии адекватности s²(ад) линии 3 по формуле (5)						
	2·10 ⁻⁵	0,0020	0,0023	0,0027	0,0003	6·10 ⁻⁷
Содержание моноциклических (Y₂), w_y: экспериментальное / расчётное						
Фаза I	0,53 0,555	0,13 0,149	0,11 0,076	0,42 0,657	0,13 0,172	0,79 0,730
Фаза II	0,25 0,282	0,17 0,188	0,16 0,095	0,32 0,290	0,10 0,087	0,61 0,724
Фаза III	0,33 0,294	0,35 0,354	0,06 0,120	0,20 0,159	0,08 0,044	0,71 0,778
Фаза IV	0,35 0,334	0,22 0,263	0,19 0,155	0,13 0,112	0,06 0,079	0,84 0,809
Дисперсии адекватности s²(ад) линии 2 по формуле (5)						
	0,0010	0,0013	0,0009	0,0105	0,0009	0,0005
	0,0010	0,0013	0,0009	0,0105	0,0009	0,0005
Содержание бициклических (Z), w_z: экспериментальное / расчётное						
Фаза I	0,47 0,431	0,55 0,516	0,49 0,460	0,30 0,193	0,87 0,824	0,20 0,263

Фаза II	0,74	0,53	0,26	0,52	0,90	0,38
	0,69	0,525	0,329	0,485	0,911	0,275
Фаза III	0,66	0,46	0,26	0,48	0,91	0,28
	0,673	0,456	0,300	0,512	0,901	0,222
Фаза IV	0,64	0,55	0,25	0,56	0,91	0,16
	0,628	0,568	0,293	0,559	0,801	0,189
Дисперсии адекватности $s^2(\text{ад})$ линии 1 по формуле (5)						
	0,0010	0,0008	0,0014	0,0068	0,0004	0,0005
Общие относительные погрешности $\delta^2[w(\text{ост.})]$ по формуле (9)						
Фаза I	0,0062	0,0057	0,0056	0,0054	0,0081	0,0071
Фаза II	0,0068	0,0055	0,0069	0,0067	0,0086	0,0068
Фаза III	0,0064	0,0053	0,0078	0,0873	0,0086	0,0072
Фаза IV	0,0064	0,0055	0,0045	0,0037	0,0075	0,0076
Дисперсии воспроизводимости для алифатических (X2) по формулам (10), (11) (вдоль линии 3)						
	$7,6 \cdot 10^{-6}$	0,0005	0,0025	0,0034	0,00004	$1,3 \cdot 10^{-7}$
Критерий Фишера для линии регрессии у алифатических (X2) по формулам (12) (вдоль линии 3)						
	2,18	3,82	0,91	0,81	8,87	4,57
Дисперсии воспроизводимости для моноциклических (Y2) по формулам (10), (11) (вдоль линии 2)						
	0,0012	0,0004	0,0001	0,0018	0,0001	0,0054
Критерий Фишера для линии регрессии у моноциклических (Y2) по формулам (12) (вдоль линии 2)						
	0,85	3,27	7,87	5,85	7,74	0,10
Дисперсии воспроизводимости для бициклических (Z) по формулам (10), (11) (вдоль линии 1)						
	0,0034	0,0020	0,0010	0,0079	0,0082	0,0006
Критерий Фишера для линии регрессии у бициклических (Z) по формулам (12) (вдоль линии 1)						
	0,29	0,38	4,26	0,87	0,05	0,89

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обосновано ограниченное количество углеродных циклов в молекулах каждой изопреновой кратности (моно-, сескви-, ди-, сестер-, три-, тетратерпенов), которое основывается на термодинамических характеристиках алифатических производных каждого из них.
2. Впервые представлено одностадийное сочленение карбокатионов диметилаллила, изопентила и изопрена с образованием всех типов монотерпеновых углеводов растений рода *Artemisia*.

3. Составлена кинетическая схема и ее математическое описание в виде системы трёх дифференциальных уравнений с тремя переменными для обоснования экспериментально установленной динамики накопления монотерпеновых углеводородов в жизненном цикле растений-эфироносителей рода *Artemisia*.
4. Разработан единый метод определения кинетических констант на основе обобщённой кинетической модели природного биосинтеза монотерпенов в потоке за счет совмещения теоретически полученных результатов с экспериментально установленными количественными данными накопления алифатических, моно- и бициклических структур в растениях.
5. Получены графические кинетические модели для шести видов растений рода *Artemisia* и доказано их соответствие экспериментальным данным методами регрессионного анализа с применением критерия Фишера.
6. Разработанные в статье алгоритмы для кинетических исследований биохимических процессов предлагается применять в теоретических работах по формальной кинетике.

Список литературы

1. Ходаков Г. В. Компонентный состав эфирного масла *Artemisia taurica* / Г. В. Ходаков, И. В. Котиков // Химия природ.соедин. – 2008. – № 2. – С. 205–206
2. Ходаков Г. В. Компонентный состав эфирного масла *Artemisia abrotanum* и *Artemisia dracunculus* / Г. В. Ходаков, И. В. Котиков, В. Н. Панковецкий // Химия природ. соедин. – 2009. – № 6. – С. 755–758.
3. Ходаков Г. В. Компонентный состав эфирного масла *Artemisia annua* и *Artemisia scoparia* / Г. В. Ходаков, И. В. Котиков // Химия природ.соедин. – 2009. – № 6. – С. 759–761.
4. Ходаков Г. В. Кинетика природного биосинтеза монотерпенов / Г. В. Ходаков, В. Н. Устименко // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2017. – Т.2, № 1. – С. 294–400.
5. Митрофанов В. И. Роль тритерпенов в эволюции биосферы / В. И. Митрофанов, Г. В. Ходаков, Ю. М. Фадеев // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартъян». – 2012. – Вып. 3. – С. 30–44.
6. Полянская Е. В. Состав эфирного масла из полыни *Glaucia* из Западной Сибири / Е. В. Полянская, Е. А. Королюк, А. В. Ткачев // Химия природ.соедин. – 2007. – №5. – С. 544–547.
7. Hegnauer R. Chemotaxonomie der Pflanzen. Eine Übersicht über die Verbreitung und die systematische Bedeutung der Pflanzenstoffe / R. Hegnauer. – Basel und Stuttgart: Birkhäuser, Vol. 1 – Vol.11/b2. – P. 1962–2001.
8. Rohmer M. The discovery of a mevalonate-independent pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria, algae and higher plants / Rohmer M. // Nat. Prod. Rep. – 1999. – Vol. 16. – P. 565–574.
9. Porter J. W. Enzymatic synthesis of carotenoid and related compounds / Porter J. W. // Pure Appl. Chem. – 1969. – Vol. 20. – P. 449–481.
10. Britton G., Carotenoids. Volume 3: Biosynthesis and Metabolism / G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfander. – Basel and Boston: Birkhäuser, 1998. – 414 p.
11. Dewick P. M. Medicinal natural products: a biosynthetic approach / P. M. Dewick. – John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, 2002. – 487 p.
12. Barton D. The Synthesis and Reactions of Organic Compounds / D. Barton, W. D. Ollis // Biological compounds. – 1979. – Vol. 5. – P. 736.
13. Pan X. Herpetopanolone, a diterpene from *Herpetosiphon aurantiacus* discovered by isotope labeling / X. Pan, N. Domin, S. Schieferdecker, H. Kage, M. Roth, M. Nett // J.Org.Chem. – 2017. – Vol. 13. – P. 2458–2465.
14. Брановицкая С. В. Вычислительная математика в химии и химической технологии / С. В. Брановицкая, Р. В. Медведев, Ю. Я. Фиалков. – К.: Вища школа, 1986. – 216 с.

15. Дьяконов В. П. Система MathCad: справочник / В. П. Дьяконов. – М.: Радио и связь, 1993. – 128 с.
16. Закгейм А. Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. 2-е изд. перераб. и доп. / А. Ю. Закгейм. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
17. Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1980. – 166 с.
18. МИ 2083–90 СИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
19. Р 50. 2. 038–2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешности и неопределённости результата измерения.
20. Миронов Э. Г. Методы и средства измерений: учебное пособие / Э. Г. Миронов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО "УГТУ–УПИ", 2009. – 463 с.
21. Гармаш А. В. Метрологические основы аналитической химии / А. В. Гармаш, Н. М. Сорокина; под ред. Шеховцовой Т. Н. – М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2005. – 42 с.

THERMODYNAMICS AND KINETIC MODELS FOR THE NATURAL BIOSYNTHESIS OF THE ESSENTIAL INGREDIENTS IN ETHEREOUS OILS PLANTS OF THE SORT ARTEMISIA

Ustimenko V. N., Khodakov G. V.

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

Dynamics of accumulation of aliphatic, monocyclic and bicyclic monoterpenes by weight fractions in ethereous oils of plants of the sort *Artemisia* (*Artemisia abrotanum*, *A. dracuncululus*, *A. annua*, *A. scoparia*, *A. taurica*, *A. glauca*) is introduced. Thermodynamic performances of aliphatic terpenes for isoprene multiplicities, those as mono-, sesqui-, di-, the sester-, three-, tetra- terpenes, were compared due to search a series of possible cyclic structures for each of them.

For each plant kinetic model for the accumulation of essential products in obtained received oil was formulated on the basis of author's uniform kinetic model for the formation of monoterpenes through chemical transformations of a glucose and a mevalonate and an isoprene by means of own experimental and literary data.

The author's kinetic schema of their biosynthesis in a torrent on the basis of a single-stage link between the isopentyl carbocation and the dimethyl-allyl carbocation and the isoprene was used. Its mathematical exposition such as the system of three differential equations which contain three variables has allowed to explain experimental data about an accumulation of biosynthesis products obtained according to phases of a plants vegetation. In the introduced work experimental data was compared with graphic solutions of these equations, where the count of products dispersion to an external environment was applied with methods of the regression analysis by the test of Fisher.

It is offered to use the developed model at an selection planning and a choice of times to pick plants for the extraction from them an ethereous oil with a specific constitution and compositions from oils to use them in industrial needs, to predict specialties of plants vegetation and to do it in formal kinetics as a basis to investigate a natural biosynthesis of monoterpene hydrocarbons.

Keywords: Artemisia, thermodynamics of monoterpenes, regression analysis, biosynthesis of monoterpenes, phases of a vegetation, degree of a cyclization of monoterpenes, kinetic model.

References

1. Khodakov G. V., Kotikov I. V., Component composition of essential oil from *Artemisia taurica*, *Khim. Prirod. Soedin.*, **2**, 205 (2008). (In Russ.).
2. Khodakov G. V., Kotikov I. V., Pankovetski V. N., Component composition of essential oil from *Artemisia abrotanum* and *Artemisia dracunculus*, *Khim. Prirod. Soedin.*, **6**, 755 (2009). (In Russ.).
3. Khodakov G. V., Kotikov I. V., Component composition of essential oil from *Artemisia annua* and *Artemisia scoparia*, *Khim. Prirod. Soedin.*, **6**, 759 (2009). (In Russ.).
4. Khodakov G. V., Ustimenko V. N., Kinetics of natural biosynthesis of monoterpenes, *Modern trends in biological physics and chemistry*, **2** (1), 294 (2017). (In Russ.).
5. Mitrofanov V. I., Khodakov G. V., Fadeev Yu. M., A role of triterpenes in evolution of biosphere, *Scientific notes of the "Cape Martyan" Nature reserve*, **3**, 30 (2012). (In Russ.).
6. Polyanski E. V., Korolyuk E. A., Tkatchev A. V., The composition of essential oil from *Artemisia glauca* from Western Siberia, *Khim. Prirod. Soedin.*, **5**, 544 (2007). (In Russ.).
7. Hegnauer R., Chemotaxonomy of the plants. An overview of the distribution and the systematic importance of plant substances, Vol.1 – Vol.11/b2 (Birkhäuser, Basel and Stuttgart, 1962–2001). (In German).
8. Rohmer M., The discovery of a mevalonate-independent pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria, algae and higher plants, *Natur. Prod. Rep.*, **16**, 565 (1999).
9. Porter J. W., Enzymatic synthesis of carotenoid and related compounds, *Pure Appl. Chem.*, **20**, 449 (1969).
10. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H., Carotenoids. Volume 3: Biosynthesis and Metabolism, 414 p (Birkhäuser, Basel and Boston, 1998).
11. Dewick P. M., Medicinal natural products: a biosynthetic approach, 487 p. (John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2002).
12. Barton D., Ollis W. D., The Synthesis and Reactions of Organic Compounds, *Biological compounds*, **5**, 736 (1979).
13. Pan X., Domin N., Schieferdecker S., Kage H., Roth M., Nett M., Herpetopanone, a diterpene from *Herpetosiphon aurantiacus* discovered by isotope labeling, *J. Org. Chem.*, **13**, 2458 (2017).
14. Branovitskaja S. V., Medvedev R. V., Fialkov Yu. Ja., Computational Mathematics in Chemistry and Chemical Technology, 216 p. (Higher school, Kiev, 1986). (In Russ.).
15. Djakonov V. P., System MathCad: guide, 128 p (Radio and communication, Moscow, 1993). (In Russ.).
16. Zakgejm A. Ju., Introduction in modelling of chemical and technological processes, 288 p. (Chemistry, Moscow, 1982). (In Russ.).
17. Kafarov V. V., Optimization methods of experiment in a chemical technology, 166 p. (Higher school, Moscow, 1980). (In Russ.).
18. MI 2083-90 SI. Measurements indirect. A definition of results from measurements and estimation of their errors. (In Russ.).
19. R 50.2.038–2004. State system for maintenance of measuring unity. Measurements direct single-pass. An estimation of errors and uncertainty of a result from the measurement. (In Russ.).
20. Mironov E. G., Methods and means of measuring: the manual, 463 p. (STO HPE "UTU–UPI", Yekaterinburg, 2009). (In Russ.).
21. Garmash A. V. Metrological basis of an analytical chemistry, 42 p. (Moscow State University named M. V. Lomonosov, Moscow, 2005). (In Russ.).

УДК 539.196+543.422

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ФЕНИЛАНТРАНИЛОВАЯ КИСЛОТА-
ТЕТРАГИДРОФУРАН ПО ИК СПЕКТРАМ ПОГЛОЩЕНИЯ**

Шейх-Заде М. И.

*ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: tosprimea@gmail.com*

Получены инфракрасные спектры растворов фенилантраниловой кислоты с тетрагидрофураном в C_2Cl_4 в области валентных колебаний ОН-группы. Определены значения константы образования (K) комплексов с межмолекулярной водородной связью этой кислоты с тетрагидрофураном в интервале температур 25–100 °С. Из температурной зависимости K найдены значения ΔH и ΔS образования указанных комплексов двумя методами: линеаризацией уравнения Вант-Гоффа логарифмированием и линеаризацией этого уравнения разложением в ряд Тейлора с последующим применением итерационного процесса.

Ключевые слова: инфракрасные спектры, фенилантраниловая кислота, тетрагидрофуран, водородная связь, термодинамические характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Алифатические и ароматические карбоновые кислоты давно привлекают внимание исследователей как доноры протона при образовании комплексов с межмолекулярной водородной связью (МВС) $R-COON...B-Y$ с акцепторами протона $B-Y$ [1–5 и ссылки в них]. В этих работах исследовалось влияние радикала R на протондонорную способность ОН-группы карбоновых кислот. В настоящей работе в качестве объекта исследования выбрана фенилантраниловая кислота (ФАК), которая интересна тем, что в молекулах ФАК имеется внутримолекулярная водородная связь (ВВС). Наличие ВВС в ФАК установлено в работе [6] на основе анализа значений частот $\nu_{C=O}$, ν_{NH} , ν_{OH} , а также температурой и концентрационной зависимостей интенсивностей этих полос в интервале температур 25–100 °С и концентраций $4,6 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л (раствор в C_2Cl_4). В этих интервалах температур и концентраций существует мономер–димерное равновесие, причем как мономеры, так и димеры ФАК находятся в конформации с ВВС, в которой одна из неподеленных электронных пар атома кислорода $C=O$ группы образует ВВС с аминогруппой, а вторая – или остается свободной (мономеры) или участвует в МВС (димеры).

Целью данной работы являлось определение термодинамических характеристик образования комплексов с МВС ФАК–тетрагидрофуран (ТГФ) и

оценка влияния ВВС и электронных эффектов заместителя в *орто*-положении на протонодонорную способность ФАК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ИК спектры растворов ФАК с ТГФ в C_2Cl_4 регистрировались на спектрофотометре Spekorд 75 IR. Условия регистрации выбирались так, чтобы свести к минимуму искажающее влияние прибора на спектры. При регистрации спектров использовались термостатируемые кюветы с окнами из CaF_2 . Температура измерялась медь–константановой термопарой. При обработке результатов вводилась поправка на зависимость плотности раствора от температуры. Измерения проводились в интервале концентраций ФАК $4,6 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л и температур 25–100 °С. Толщина слоя раствора выбиралась такой, чтобы свести к минимуму погрешность в определении оптической плотности в максимуме аналитической полосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показаны ИК спектры в области ν_{NH} и ν_{OH} раствора ФАК+ТГФ в C_2Cl_4 .

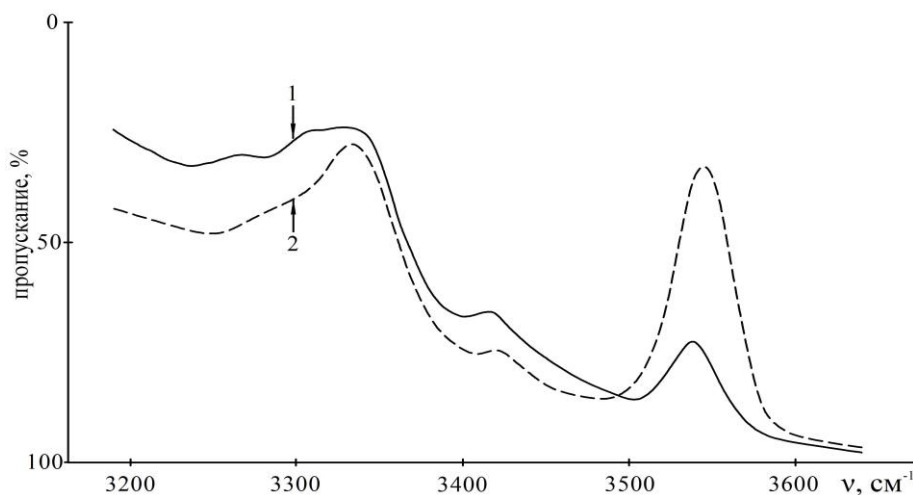


Рис. 1. ИК спектры раствора ФАК ($12,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л) + ТГФ (0,13 моль/л) в C_2Cl_4 . $d=4,9$ мм. 1-25°С, 2-100°С.

Из рис. 1 можно видеть, что полоса $\nu_{OH} \dots O$ комплекса с МВС ФАК с ТГФ накладывается на полосу ν_{NH} 3337 см^{-1} [6], на полосу $\nu_{OH} \dots O=C$ димеров ФАК с центром $\sim 2950 \text{ см}^{-1}$ [6] и, частично (высокочастотное крыло), на полосу $\nu_{M}OH$ 3541 см^{-1} мономеров ФАК [6]. В этих условиях удобной для аналитических целей является полоса $\nu_{M}OH$ 3541 см^{-1} мономеров ФАК, которая к тому же расположена в области высокой прозрачности C_2Cl_4 .

Конкурирующая реакция димеризации ФАК, от которой невозможно избавиться разбавлением раствора и повышением температуры в разумных пределах, должна учитываться при определении термодинамических характеристик комплексов ФАК с ТГФ. С учетом сказанного, константа равновесия K образования комплексов с МВС ФАК с ТГФ определялась из выражения:

$$K = (C_0^a - C^a - C_d) / C^a \cdot [C_0^b - (C_0^a - C^a - C_d)],$$

где C^a , C_d – концентрации мономеров и димеров ФАК, C_0^a , C_0^b – исходные концентрации ФАК и ТГФ соответственно. В работе [7] показано, что полуширина полосы $\nu_{\text{МОН}}$ ФАК не зависит от температуры в рабочем интервале температур.

Поэтому значения C^a и C_d находились из соотношений:

$$C^a = D / \varepsilon \cdot d, \quad C_d = (D / d)^2 / (\varepsilon^2 / 2K_d)$$

с использованием коэффициента поглощения ε и оптической плотности D в максимуме полосы $\nu_{\text{МОН}}$. Значения ε и $\varepsilon^2 / 2K_d$ были определены в [7] для каждой рабочей температуры в аналогичных экспериментальных условиях. Значения K находились из нескольких опытов при различном соотношении между C_0^a и C_0^b , причем всегда соблюдалось условие $C_0^b > C_0^a$, которое позволяет свести к минимуму относительную ошибку определения K . Средние значения K при каждой рабочей температуре использовались для дальнейших расчетов.

Значения ΔH и ΔS можно найти из уравнения

$$K = A \cdot \exp(B \cdot x), \tag{1}$$

$$\text{где } A = \exp(\Delta S / R), \quad B = (-\Delta H / R), \quad x = 1/T, \tag{2}$$

определив значения параметров A и B . В формулах (2) R – универсальная газовая постоянная. Существуют различные способы нахождения параметров A и B . Чаще всего линеаризируют функцию (1) логарифмированием обеих частей

$$\ln K = \ln A + B \cdot x, \tag{3}$$

методом наименьших квадратов (МНК) находят значения параметров A и B , затем из соотношений (2) определяют значения ΔH и ΔS . Полученные таким способом для комплексов с МВС ФАК+ТГФ значения $-\Delta H$ и $-\Delta S$ составляют 6110 кал/моль и 12,7 кал/град·моль соответственно.

Следует заметить, что полученные таким способом значения параметров A и B (следовательно и значения ΔH и ΔS) могут быть не оптимальными. Связано это с тем, что линеаризованной функцией (3) мы сглаживаем не K , а ее логарифм, а это не одно и то же. Цена отклонений точек от функции в области ее больших значений от логарифмирования уменьшается относительно тех же отклонений при малых значениях функции.

Оптимальные значения параметров A и B можно определить линеаризацией функции (1) путем разложения ее в ряд Тейлора и последующего применения интерационного процесса [8]. В качестве начального приближения можно взять значения A и B , полученные с помощью логарифмирования. Расчеты ΔH и ΔS по этому способу дали для реакции образования комплексов ФАК+ТГФ значения

$-\Delta H=6350$ кал/моль, $-\Delta S=13,4$ кал/град·моль. Полученные результаты показывают, что второй способ позволяет получить значения ΔH и ΔS на 4–5 % точнее (в интервале температур 25–100 °С).

Для оценки влияния ВВС и электронных эффектов заместителя в орто-положении на протонодонорную способность ФАК можно сравнить значения ΔH для комплексов близких по строению с ФАК карбоновых кислот с фиксированным акцептором протона. Желательно при этом, чтобы значения ΔH были получены по единой методике, так как использование единой методики измерений позволяет повысить точность сравнительной характеристики значений ΔH комплексов. С этой целью сравним значения $-\Delta H$ комплексов ФАК+ТГФ 6,35 ккал/моль, полученное в данной работе, салициловой кислоты (СК)+ТГФ 6,4 ккал/моль, ацетилсалициловой кислоты (АСК)+ТГФ 5,3 ккал/моль, полученных в [5] по одинаковой методике. Из этих данных можно видеть, что значение $-\Delta H$ для комплексов с ТГФ ФАК и СК в которых имеется ВВС, больше, чем для комплексов ТГФ с АСК, в которых нет ВВС. Из этого можно заключить, что на протонодонорную способность ФАК более заметное влияние оказывает ВВС, чем электронные эффекты заместителя в орто-положении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены термодинамические характеристики образования комплексов с МВС ФАК+ТГФ.
2. Показано, что использование линеаризации функции (1) разложением в ряд Тейлора и последующее применение итерационного процесса позволяет повысить точность определения ΔH , ΔS на 4–5 % (в интервале температур 25–100 °С) по сравнению с линеаризацией логарифмированием.

Список литературы

1. Одинокоев С. Е. Энтальпия ассоциации карбоновых кислот с пиридином и диметилсульфоксидом / С. Е. Одинокоев, А. В. Иогансен // Журн. Прикл. Спектр. – 1971. – Т.14, № 6. – С. 1076–1081.
2. Hadzi D. Hydrogen bonding in some adducts of oxygen bases with acids. Part 7. Thermodynamic study by infrared spectroscopy of the association of chloroacetic acids with some oxygen bases / D. Hadzi, J. Rajnvajn // J. Chem Soc. Faraday Tr., I. – 1973. – Vol. 69, № 1. – P. 151–155.
3. Афанасьева А. М. Спектроскопические проявления и энергии водородных связей галоидзамещенных уксусных кислот с ацетоном / А. М. Афанасьева, И. С. Перельгин // Журн. Прикл. Спектр. – 1977. – Т. 26, № 2. – С. 306–312.
4. Денисов Г. С. Спектроскопическое исследование протонодонорной способности галогензамещенных уксусной кислоты / Г. С. Денисов, А. Л. Смолянский, М. И. Шейх-Заде // Журн. Прикл. Спектр. – 1982. – Т. 36, № 5. – С. 852–855.
5. Нагибина Т. И. Сравнительная характеристика протонодонорной способности салициловой и ацетилсалициловой кислот / Т. И. Нагибина, А. Л. Смолянский, М. И. Шейх-Заде // ЖОХ. – 1982. – Т. 52, № 4. – С. 754–759.
6. Шейх-Заде М. И. Спектроскопическое исследование молекулярных форм фенилантраниловой кислоты / М. И. Шейх-Заде // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2006. – Т. 19(58), № 4. – С. 241–244.
7. Шейх-Заде М. И. Исследование димеризации фенилантраниловой кислоты по ИК спектрам поглощения / М. И. Шейх-Заде // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2007. – Т. 20(59), № 2. – С. 131–135.
8. Самарский А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – С. 190–195.

DETERMINATION OF THE THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE FORMATION OF PHENYLANTHRANILIC ACID-TETRAHYDROFURAN COMPLEXES BY IR ABSORPTION SPECTRA

Sheikh-Zade M.-I.

*Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: tospcrimea@gmail.com*

Infrared spectra of solutions of phenylanthranilic acid (FAA) with tetrahydrofuran (THF) in C_2Cl_4 in the valence vibrations region of the OH group were obtained. Earlier, on the basis of an analysis of the values of the frequencies $\nu_{C=O}$, ν_{NH} , ν_{OH} , as well as the temperature and concentration dependences of these bands intensities in the temperature range 25–100 °C and concentration of FAA $4,6 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$ mol/l (solution in C_2Cl_4), the author it is shown that in these ranges of temperatures and concentrations there is a monomer-dimer equilibrium FAA, both monomers and FAA dimers being in conformation with an intramolecular hydrogen bond. The competitive dimerization reaction of FAA was taken into account in determining the K constant for the formation of complexes with intermolecular hydrogen bond FAA with THF. The values of K were obtained in the temperature range 25–100 °C. From the temperature dependence of K, the values of ΔH and ΔS for the formation of FAA with THF complexes were found by two methods: linearization of the Van't Hoff equation by logarithmization and linearization of this equation by Taylor expansion with the subsequent application of the iterative process. It is shown that the second method allows us to determine the values of ΔH , ΔS by 4–5 % more accurately (in the temperature range 25–100 °C).

Keywords: infrared spectra, phenylanthranilic acid, tetrahydrofuran, hydrogen bond, thermodynamic characteristics

References

1. Odinokov S. E., Iogansen A. V., Association enthalpy of carboxylic acids with pyridine and dimethylsulfoxide, *Zhurn. Prikl. Spekt.*, **14**(6), 1076(1971). (in Russ.).
2. Hadzi D., Rajnvajn J., Hydrogen bonding in some adducts of oxygen bases with acids. Path 7. Thermodynamic study by infrared spectroscopy of the association of chloroacetic acids with some oxygen bases, *J. Chem Soc. Faraday Tr., I.*, **69**(1), 151(1973).
3. Afanasyeva A. M., Perelygin I. S., Spectroscopic manifestations and hydrogen bonding energy halogensubstituted acetic acids with acetone, *Zhurn. Prikl. Spekt.*, **26**(2), 306(1977). (in Russ.).
4. Denisov G. S., Smolyansky A. L., Sheikh-Zade M. I., Spectroscopic studies protonodonation capacity of halogensubstituted of acetic acid, *Zhurn. Prikl. Spekt.*, **36**(5), 852(1982). (in Russ.).
5. Nagibina T. I., Smolyansky A. L., Sheikh-Zade M. I., Comparative characteristics protonodonation capacity salicylic and acetylsalicylic acids, *Zhurn. ObsheyKhim.*, **52**(4), 754(1982). (in Russ.).
6. Sheikh-Zade M. I., Spectroscopic studies of molecular forms of phenylanthranilic acid, *Sci. Not. Taurida V. I. Vernadsky Nat. Univ., ser. Biol. Chem.*, **19**(4), 241(2006). (in Russ.).
7. Sheikh-Zade M.I., Studies of dimerization of phenylanthranilic acid by IR absorption spectra, *Sci. Not. Taurida V. I. Vernadsky Nat. Univ., ser. Biol. Chem.*, **20**(2), 131 (2007). (in Russ.).
8. Samarskii A. A., Goolin A. V., *Numerical methods*, p. 190. (Nauka, Moscow, 1989). (in Russ.).

УДК 547.918:547.972:35:543.42

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС КВЕРЦЕТИНА С ГЛИЦИРАМОМ: ПОЛУЧЕНИЕ И ИК-ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Яковишин Л. А.¹, Корж Е. Н.¹, Гришковец В. И.²

*¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь,
Республика Крым, Россия*

*²Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: chemsevntu@rambler.ru*

Жидкофазным синтезом получен новый молекулярный комплекс состава 1:1, включающий флавонол кверцетин и глицирам (моноаммонийную соль тритерпенового гликозида глицирризиновой кислоты). Методом ИК-Фурье-спектроскопии показано, что при комплексообразовании между компонентами комплекса образуются водородные связи: $-C=O_{GC} \cdots H-O_{Quer}$ и $-(H)O \cdots H-O-$.

Ключевые слова: кверцетин, глицирризиновая кислота, глицирам, супрамолекулярный комплекс, ИК-Фурье-спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время интенсивно изучаются биологически активные вещества полифенольной природы [1–3]. Повышенный интерес к данным соединениям обусловлен широким спектром их биологического действия, поэтому они нашли применение в фармации, функциональном питании и косметике [1–6].

Кверцетин (Quer; рис. 1) – это один из самых известных флавонолов, являющийся агликоном рутина. Quer содержится в винограде, гречихе, яблоках, чае, цитрусовых, чернике, ежевике и других растениях [7]. Quer и рутин обладают Р-витаминной активностью. Они уменьшают проницаемость и ломкость капилляров [4]. Quer также проявляет антиоксидантное, противовоспалительное, спазмолитическое, антисклеротическое, диуретическое и противоопухолевое действие [4, 7–9].

На основе Quer и рутина разработаны лекарственные препараты [4]. Однако Quer обладает низкой растворимостью в воде [10]. Терапевтическое действие ряда полифенольных веществ ограничивается их биодоступностью [8]. Установлено, что растворимость, биодоступность и стабильность фармсубстанций может быть существенно повышена за счет их молекулярного капсулирования тритерпеновыми сапонинами [11–16]. Для этих целей наиболее широко рассмотрен главный тритерпеновый сапонин солодки глицирризиновая кислота (3-*O*-β-*D*-глюкуронопиранозил-(1→2)-*O*-β-*D*-глюкуронопиранозид глицирретиновой кислоты) и ее моноаммонийная соль глицирам (GC; рис. 1), которая является лекарственным средством и пищевой добавкой [11–16]. GC проявляет

гепатопротекторное, противовоспалительное, антиаллергическое и отхаркивающее действие [15–17], а также используется в качестве подсластителя и пенообразователя [18].

Не смотря на то, что к настоящему времени разработано множество биологически активных добавок и концентратов, включающих полифенолы, фармацевтические композиции на основе бинарных молекулярных комплексов, полученных из индивидуальных полифенолов и сапонинов, еще не описаны. Одной из актуальных задач современной фармацевтической и медицинской химии является поиск инновационных отечественных лекарственных средств. Поэтому получение новых потенциальных кандидатов, обладающих высокой терапевтической активностью, актуально для современного дизайна лекарств.

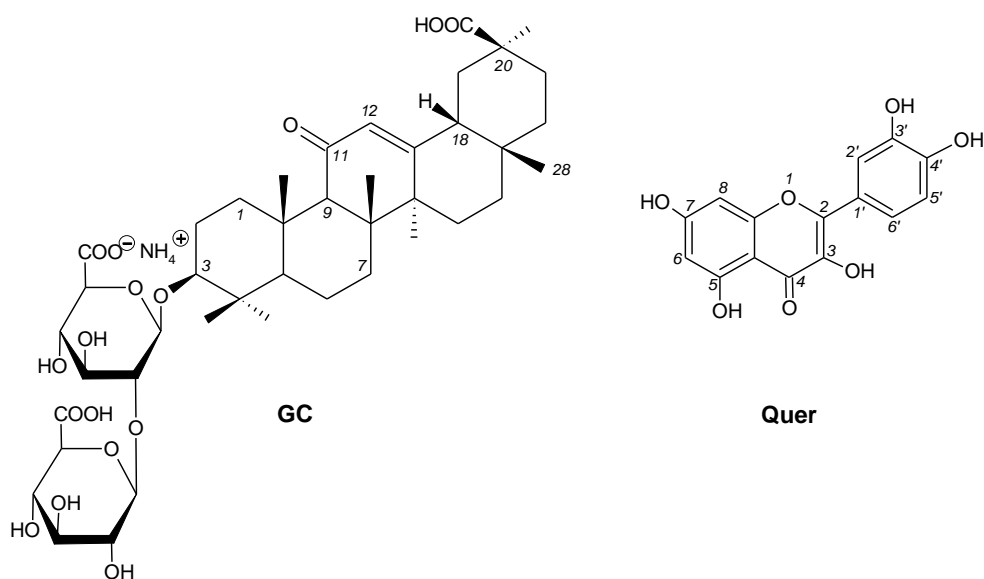


Рис. 1. Monoаммонийная соль глицирризиновой кислоты (глицирам, GC) и кверцетин (Quer).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образец GC (Calbiochem, США; чистота $\geq 95\%$ по ВЭЖХ) и Quer (Реахим, чда) без предварительной подготовки.

Комплекс GC с Quer препаративно получали жидкофазным способом. Для этого смешивали по 1 ммоль GC и Quer с 50 мл смеси 96% водного этанола с хлороформом, взятых в соотношении 1:1 по объему. Смеси выдерживали при 50 °C в течение 1,5 ч при постоянном перемешивании. Органические растворители отгоняли в вакууме.

ИК-спектры сняты с твердых образцов на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Россия) с универсальной оптической приставкой НПВО-А

(нарушенного полного внутреннего отражения) с алмазным элементом и встроенным мини-монитором (верхнее расположение образца) в области 4000–550 см^{-1} (спектральное разрешение 4 см^{-1} ; 25 сканов). Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaiR 3.5 (СИМЕКС, Россия).

ИК-спектр Quer (ν , см^{-1}): 3400 (ОН), 3261 (ОН), 2990 (СН), 2901 (СН), 2843 (СН), 2782 (СН), 2707 (СН), 1660 (C=O), 1607 (C=C_{Ar}), 1562 (C=C_{Ar}), 1518 (C=C_{Ar}), 1461 (C=C_{Ar}), 1448 (C=C_{Ar}), 1407 (C–ОН), 1380 (C–ОН), 1317 (СН_{Ar}), 1258 (C–O–C, C–ОН), 1197 (C–O–C, C–ОН), 1167 (C–O–C, C–ОН), 1130 (C–O–C, C–ОН), 1092 (C–O–C, C–ОН), 1013 (C–O–C, C–ОН), 941 (СН_{Ar}), 864 (СН_{Ar}), 841 (СН_{Ar}), 819 (СН_{Ar}), 794 (СН_{Ar}), 721 (СН_{Ar}), 679 (СН_{Ar}), 670 (ОН), 638 (СН_{Ar}), 602 (СН_{Ar}).

ИК-спектр GC (ν , см^{-1}): 3210 (ОН, NH), 2928 (СН), 2862 (СН), 1719 (C=O), 1701 (C=O), 1640 (C(11)=O, C=C), 1587 (COO⁻), 1451 (СН₂, СН₃), 1423 (NH₄⁺), 1413 (COO⁻), 1389 (СН), 1358 (СН), 1351 (СН), 1308 (СН), 1260 (СН), 1212 (СН), 1164 (C–O–C, C–ОН), 1035 (C–O–C, C–ОН), 980 (=СН).

ИК-спектр комплекса GC с Quer (ν , см^{-1}): 3406 (ОН), 3205 (ОН, NH), 2927 (СН), 2862 (СН), 1722 (C=O_{GC}), 1692 (C=O_{GC}), 1658 (C=O_{Quer}), 1641 (C(11)=O_{GC}, C=C_{GC}), 1611 (C=C_{Ar}), 1592 (COO⁻), 1566 (C=C_{Ar}), 1511 (C=C_{Ar}), 1461 (C=C_{Ar}), 1450 (C=C_{Ar}, СН₂, СН₃), 1425 (NH₄⁺), 1410 (COO⁻), 1380 (СН), 1358 (СН), 1343 (СН), 1309 (СН), 1260 (C–O–C, C–ОН, СН), 1209 (СН), 1199 (C–O–C, C–ОН), 1165 (C–O–C, C–ОН), 1029 (C–O–C, C–ОН), 978 (=СН), 945 (СН_{Ar}), 866 (СН_{Ar}), 840 (СН_{Ar}), 818 (СН_{Ar}), 791 (СН_{Ar}), 719 (СН_{Ar}), 679 (СН_{Ar}), 669 (ОН), 635 (СН_{Ar}), 598 (СН_{Ar}).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Молекулярный комплекс GC с Quer получали в жидкой фазе. Для этого твердые образцы GC и Quer, взятые в молярном соотношении 1:1, смешивали с органическим растворителем, содержащим 96 % водный этанол и хлороформ. После инкубирования смеси растворитель удаляли и получали комплекс в виде твердой субстанции. Для анализа молекулярного комплексообразования использовали метод ИК-Фурье-спектроскопии с приставкой НПВО. ИК-спектроскопия является одним из наиболее частотно используемых неразрушающих физических методов для анализа молекулярных комплексов веществ [19]. Она позволяет подтвердить факт взаимодействия веществ при молекулярном комплексообразовании и выявить функциональные группы в их молекулах, ответственных за связывание. Приставка НПВО дает возможность проводить анализ без специальной пробоподготовки, что существенно ускоряет исследование.

В ИК-спектре Quer в области 3400–3300 см^{-1} обнаружена широкая интенсивная полоса с несколькими максимумами (3400 и 3261 см^{-1}), вызванная поглощением валентных колебаний ассоциированных фенольных ОН-связей (рис. 2). Валентные колебания СН-связей найдены при 3000–2700 см^{-1} . Интенсивная полоса поглощения валентных колебаний связи С=О в молекуле Quer находится при 1660 см^{-1} .

Полосы валентных колебаний ароматических колец Quer наблюдаются в области 1600–1400 см^{-1} (интенсивные полосы при 1607, 1562, 1518, 1461 и 1448 см^{-1}). В области 1400–1300 см^{-1} находятся полосы плоских деформационных колебаний связей С–ОН фенолов. Валентные колебания связей С–О (в группах

C–O–C и C–OH) проявляются в области 1200–1000 см^{-1} . Наиболее интенсивная полоса найдена при 1013 см^{-1} . В области 900–600 см^{-1} наблюдаются многочисленные полосы поглощения, вызванные неплоскими деформационными колебаниями связей C–H ароматических колец Quer. Также в этой области при 670 см^{-1} идентифицирована широкая полоса неплоских деформационных колебаний фенольных связей OH.

В ИК-спектре GC присутствуют сигналы, относящиеся к валентным колебаниям связей C=O в составе карбоксильных групп (1719 и 1701 см^{-1}), и C=O, сопряженной с двойной связью (1640 см^{-1}). Полоса асимметричных валентных колебаний связи C=O в COO^- найдена при 1587 см^{-1} . Валентные колебания связей CO в составе групп C–O–C и C–OH углеводной части GC проявляются в виде множества полос поглощения в области 1200–1000 см^{-1} с главным максимумом при 1035 см^{-1} . Частоты полос поглощения деформационных колебаний связей CH находятся в области 1400–1200 см^{-1} . Широкий пик при 3210 см^{-1} связан с валентными колебаниями связей OH и NH в молекуле GC. Полосы частот поглощения валентных колебаний CH-связей GC имеют максимумы при 2928 и 2862 см^{-1} .

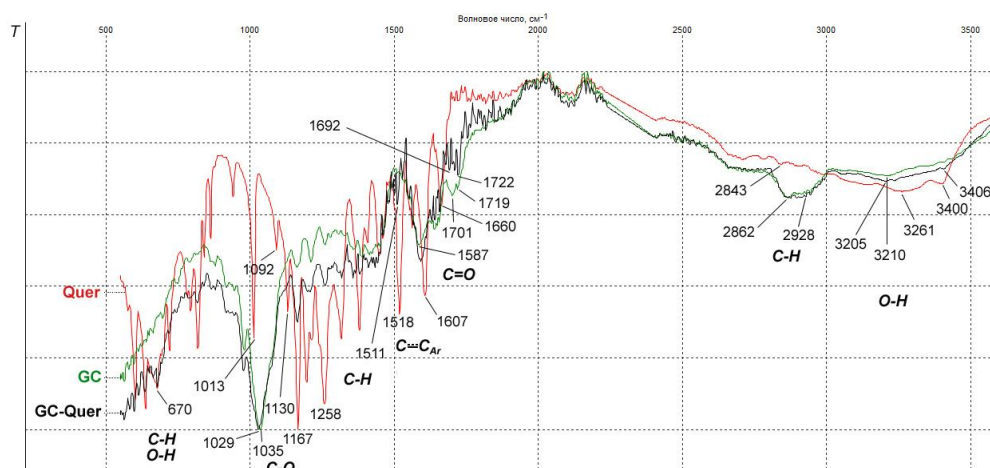


Рис. 2. ИК-спектры GC, Quer и их молекулярного комплекса (приставка НПВО).

При комплексообразовании с GC у Quer наблюдается сдвиг полосы поглощения валентных колебаний связей OH с 3261 см^{-1} на -56 см^{-1} , указывающий на образование водородной связи. При этом у GC изменение частоты поглощения ν_{OH} при 3210 см^{-1} составило только -5 см^{-1} .

Частота полосы поглощения валентных колебаний связей C–OH у Quer при 1013 см^{-1} в комплексе изменяется до 1029 см^{-1} , а у GC – с 1035 см^{-1} до 1029 см^{-1} . Полоса при 1130 см^{-1} у индивидуального Quer в спектре его комплекса с GC не

обнаружена, а полоса при 1092 см^{-1} , очевидно, перекрыта интенсивной полосой при 1029 см^{-1} .

Частота полосы поглощения валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ у Quer при 1660 см^{-1} при комплексообразовании с GC практически не изменилась, однако одна из полос поглощения $\text{C}=\text{O}$ в карбоксильных группах у GC (при 1701 см^{-1}) испытывает низкочастотный сдвиг на 9 см^{-1} . Этот факт указывает на ее участие в межмолекулярном связывании с Quer посредством образования водородной связи. Ранее подобные изменения в ИК-спектрах неоднократно наблюдались при комплексообразовании для группы $\text{C}=\text{O}$ у глицирризиновой кислоты [20], GC [21] и тритерпенового гликозида плюща α -хедерина [22].

Таким образом, изменения в ИК-спектрах указывают на образование между молекулами GC и Quer водородной связи $-\text{C}=\text{O}_{\text{GC}}\cdots\text{H}-\text{O}_{\text{Quer}}$. Кроме того, водородная связь может образоваться и между гидроксильными группами компонентов комплекса: $-(\text{H})\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}-$.

При сопоставлении ИК-спектров индивидуальных компонентов и их комплекса GC–Quer найдены изменения некоторых частот полос поглощения колебаний $\text{C}-\text{H}$ связей у GC ($1389\rightarrow 1380\text{ см}^{-1}$ и $1351\rightarrow 1343\text{ см}^{-1}$), а также частот полос поглощения колебаний ароматических колец Quer ($1607\rightarrow 1611\text{ см}^{-1}$, $1562\rightarrow 1566\text{ см}^{-1}$ и $1518\rightarrow 1511\text{ см}^{-1}$). Смещения указанных полос могут быть вызваны гидрофобными взаимодействиями GC с Quer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Жидкофазным способом в среде органических растворителей получен новый молекулярный комплекс GC и Quer состава 1:1.
2. Методом ИК-Фурье-спектроскопии показано, что между компонентами комплекса образуются водородные связи вида $-\text{C}=\text{O}_{\text{GC}}\cdots\text{H}-\text{O}_{\text{Quer}}$ и $-(\text{H})\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}-$. Возможно, что при комплексообразовании имеют место и гидрофобные взаимодействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-43-920002 р_а).

Список литературы

1. Биологически активные свойства полифенолов винограда и вина / Ю. А. Огай, В. А. Загоруйко, И. В. Богадельников [и др.] // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2000. – № 4. – С. 25–26.
2. Адамень Ф. Ф. Наука и опытное дело как основа развития аграрного производства Крыма / Ф. Ф. Адамень, Ю. В. Плугатарь, А. Ф. Сташкина. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 252 с.
3. Матвеева Т. В. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий: монография / Т. В. Матвеева, С. Я. Корячкина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 947 с.
4. Машковский М. Д. Лекарственные средства: в 2 т. / М. Д. Машковский. – [13-е изд.]. – Харьков: Торсинг, 1997. – Т. 2. – 592 с.

5. Бондакова М. В. Получение и использование экстракта красящих веществ винограда в косметических продуктах / М. В. Бондакова, С. Н. Бутова, С. Ю. Солдатова // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2015. – № 1. – С. 56–62.
6. Биологически активные вещества винограда и их использование в косметических продуктах / Бондакова М. В., Петриченко В. Н., Солдатова С. Ю., Бутова С. Н. // Аграрная Россия. – 2016. – № 3. – С. 25–29.
7. Биологически активные вещества растительного происхождения: в 3 т. / Отв. ред. В. Ф. Семихов. – М.: Наука, 2001. – Т. 1. – 350 с.
8. Boots A. W. Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical / A. W. Boots, G. R. M. M. Haenen, A. Bast // Eur. J. Pharmacol. – 2008. – Vol. 585, № 2–3. – P. 325–337.
9. Dietary wine phenolics catechin, quercetin, and resveratrol efficiently protect hypercholesterolemic hamsters against aortic fatty streak accumulation / C. Auger, P. L. Teissedre, P. Gérard [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2005. – Vol. 53, № 6. – P. 2015–2021.
10. Solubility and solution thermodynamic properties of quercetin and quercetin dihydrate in subcritical water / K. Srinivas, J. W. King, L. R. Howard, J. K. Monrad // J. Food Eng. – 2010. – Vol. 100, № 2. – P. 208–218.
11. 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.
12. Толстикова Т. Г. На пути к низкодозным лекарствам / Т. Г. Толстикова, А. Г. Толстиков, Г. А. Толстиков // Вестник РАН. – 2007. – Т. 77, № 10. – С. 867–874.
13. 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.
14. Polyakov N. E. Glycyrrhizic acid as a novel drug delivery vector: synergy of drug transport and efficacy / N. E. Polyakov, T. V. Leshina // Open Conf. Proc. J. – 2011. – Vol. 2. – P. 64–72.
15. Yakovishin L. A. Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets // Studies in natural products chemistry; ed. Attatur-Rahman. – Amsterdam: Elsevier, 2018. – Vol. 55. – Chapter 11. – P. 351–383.
16. Солодка: Биоразнообразие, химия, применение в медицине / Г. А. Толстиков, Л. А. Балтина, В. П. Гранкина [и др.]. – Новосибирск: Гео, 2007. – 311 с.
17. Hayashi H. Economic importance of licorice / H. Hayashi, H. Sudo // Plant Biotechnol. – 2009. – Vol. 26. – P. 101–104.
18. Сарафанова Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия / Л. А. Сарафанова. – [2-е изд., испр. и доп.]. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 808 с.
19. Хобза П. Межмолекулярные комплексы / П. Хобза, Р. Заградник. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
20. Комплексы β-глицирризиновой кислоты с нестероидными противовоспалительными средствами как новые транспортные формы / Г. А. Толстиков, Л. А. Балтина, Ю. И. Муринов [и др.] // Хим.-фарм. журн. – 1991. – Т. 25, № 2. – С. 29–32.
21. Яковишин Л. А. Супрамолекулярный комплекс моноаммонийной соли глицирризиновой кислоты (глицирама) с кофеином / Л. А. Яковишин, В. И. Гришковец, Е. Н. Корж // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), № 3. – С. 270–277.
22. Яковишин Л. А. Молекулярные комплексы тритерпеновых гликозидов плюща с β-циклодекстрином / Л. А. Яковишин // Химия растит. сырья. – 2015. – № 1. – С. 83–87.

MOLECULAR COMPLEX OF QUERCETIN WITH GLYCYRAM:
PREPARATION AND IR FOURIER SPECTROSCOPIC ANALYSISYakovishin L. A.¹, Korzh E. N.¹, Grishkovets V. I.²¹Sevastopol State University, Sevastopol, Crimea, Russia²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation

E-mail: chemsevntu@rambler.ru

Quercetin (Quer) is one of the most famous flavonols, being an aglycone of rutin. Quer was founded in grapes, buckwheat, apples, tea, citrus, bilberries, blackberries, and other plants. Quer and rutin have P-vitamin activity. They reduce permeability and fragility of capillaries. Quer also exhibits antioxidant, anti-inflammatory, antispasmodic, antisclerotic, diuretic, and antitumor effects. Glycyram (monoammonium glycyrrhizinate, GC) is an anti-inflammatory and antiallergic drug.

The synthesis of new molecular complex of Quer with GC was carried out in the liquid phase (in a mixture of 96 % aqueous ethanol and chloroform at a ratio of 1:1, v/v). The components were taken in 1:1 molar ratio. The obtained mixture was incubated at 50 °C for 1.5 h with continuous stirring. The organic solvents were then removed by vacuuming.

The complexation was studied by ATR FTIR spectroscopy with diamond crystal plate. The frequency of the absorption band of C=O stretching vibrations in the GC carboxyl group has changed by -9 cm^{-1} . It indicates the formation of a hydrogen bond $\text{C}=\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}-$.

The spectrum of the GC–Quer complex exhibited a low-frequency shift of the absorption bands of OH bonds stretching vibrations in Quer from 3261 to 3205 cm^{-1} , and in GC – from 3210 to 3205 cm^{-1} . This confirms the formation of hydrogen bonds. The frequency of the absorption band of C=O stretching vibrations in Quer molecule was not changed.

By complexation there are some changes in the frequency absorption band of CH bonds of GC ($1389\rightarrow 1380\text{ cm}^{-1}$, and $1351\rightarrow 1343\text{ cm}^{-1}$) as well as the frequencies of absorption bands of vibrations of Quer aromatic rings ($1607\rightarrow 1611\text{ cm}^{-1}$, $1562\rightarrow 1566\text{ cm}^{-1}$, and $1518\rightarrow 1511\text{ cm}^{-1}$). This fact may indicate the presence of hydrophobic contacts.

Keywords: quercetin, glycyrrhizic acid, glycyram, supramolecular complex, FTIR spectroscopy.

References

1. Ogay Yu. A., Zagoruiko V. A., Bogadelnikov I. V., Bogdanov N. N., Veremeeva R. E., Mizin V. I., Biologically active properties of polyphenols of grapes and wine, "Magarach". *Viticulture and Enology*, 4, 25 (2000). (in Russ.).
2. Adamen F. F., Plugatar Yu. V., Stashkina A. F., *Science and experimental business as the basis for the development of agricultural production in the Crimea*, 252 p. (ARIAL, Simferopol, 2015). (in Russ.).
3. Matveeva T. V., Koryachkina S. Ya., *Physiologically functional food ingredients for bakery and confectionery: monograph*, 947 p. (Gosuniversitet - UNPK, Orel, 2012) (in Russ.).
4. Mashkovskii M. D., *Drugs*, 2 vols., 13 ed., 2, 592 p. (Torsing, Kharkov, 1997). (in Russ.).

5. Bondakova M. V., Butova S. N., Soldatova S. Yu., Collecting and using grape extract as a colorant in cosmetic products, *Bull. of Nizhnevartovsk State University*, 1, 56 (2015). (in Russ.).
6. Bondakova M. V., Petrichenko V. N., Soldatova S. Yu., Butova S. N., Biologically active substances of grapes and their use in cosmetic products, *Agrarian Russia*, 3, 25 (2016). (in Russ.).
7. *Biologically active substances of vegetable origin*, 3 vols., edited by V.F. Semihov, 1, 350 p. (Nauka, Moscow, 2001). (in Russ.).
8. Boots A. W., Haenen G. R. M. M., Bast A., Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical, *Eur. J. Pharmacol.*, 585 (2–3) 325 (2008).
9. Auger C., Teissedre P. L., Gérain P., Lequeux N., Bornet A., Serisier S., Besançon P., Caporiccio B., Cristol J. P., Rouanet J. M., Dietary wine phenolics catechin, quercetin, and resveratrol efficiently protect hypercholesterolemic hamsters against aortic fatty streak accumulation, *J. Agric. Food Chem.*, 53 (6) 2015 (2005).
10. Srinivas K., King J. W., Howard L. R., Monrad J. K., Solubility and solution thermodynamic properties of quercetin and quercetin dihydrate in subcritical water, *J. Food Eng.*, 100 (2) 208 (2010).
11. 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).
12. Tolstikova T. G., Tolstikov A. G., Tolstikov G. A., On the way to low-dose drugs, *Vestnik RAN*, 77 (10), 867 (2007). (in Russ.).
13. 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.).
14. Polyakov N. E., Leshina T. V., Glycyrrhizic acid as a novel drug delivery vector: synergy of drug transport and efficacy, *Open Conf. Proc. J.*, 2, 64 (2011).
15. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules, in *Studies in natural products chemistry*, edited by Atta-ur-Rahman, 55, p. 351–383 (Elsevier, Amsterdam, 2018).
16. Tolstikov G. A., Baltina L. A., Grankina V. P., Kondratenko R. M., Tolstikova T. G., *Licorice: Biodiversity, chemistry, and application in medicine*, 311 p. (Geo, Novosibirsk, 2007). (in Russ.).
17. Hayashi H., Sudo H., Economic importance of licorice, *Plant Biotechnol.*, 26, 101 (2009).
18. Sarafanova L. A., *Nutritional supplements: encyclopedia*, 2 ed., 808 p. (GIORD, St. Petersburg, 2004). (in Russ.).
19. Hobza P., Zagradnik R., *Intermolecular complexes*, 376 p. (Mir, Moscow, 1989). (in Russ.).
20. Tolstikov G. A., Baltina L. A., Murinov Yu. I., Davydova V. A., Tolstikova T. G., Bondarev A. I., Zarudy F. S., Lazareva D. N., Complexes of β -glycyrrhizinic acid with nonsteroidal antiinflammatory drugs as novel transport forms, *Khim.-Farm. Zhurn.*, 25 (2) 29 (1991). (in Russ.).
21. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Korzh E. N., Supramolecular complex of monoammonium salt of glycyrrhizic acid (glycyram) with caffeine, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 3 (3) 270 (2017). (in Russ.).
22. Yakovishin L. A., Molecular complexes of ivy triterpene glycosides with β -cyclodextrin, *Khim. Rastit. Syr'ja*, 1, 83 (2015). (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Абдураманова Эльвира Рустамовна** Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», ассистент кафедры медицинской и фармацевтической химии.
- Абрамова Ксения Ивановна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: kseniaiv@yandex.ru.
- Аликина Маргарита Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студент 2-го курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: alikina93@gmail.com
- Андроновская Ирина Борисовна** Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры Микробиологии, вирусологии и иммунологии
- Ашихмин Сергей Петрович** ФБГОУ ВО Кировский государственный медицинский университет, кандидат медицинских наук, доцент, проректор по медицинской деятельности
- Бебия Сергей Михайлович** Институт ботаники Академии наук Абхазии (АНА), доктор биологических наук, профессор, зав. отделом интродукции растений, e-mail: bebia_sergei@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
- Джакония Елена Феликсовна** Институт ботаники АНА, научная сотрудница
- Джелдубаева Эльвиза Рашидовна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Жданова Ольга Борисовна** ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт паразитологии им. К.И. Скрябина, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФБГОУ ВО Кировский государственный медицинский университет, профессор кафедры гистологии, эмбриологии, цитологии

Заячникова Татьяна Валентиновна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, Медицинский биофизический центр Клинического медицинского многопрофильного центра Святителя Луки, начальник
Ибрагимова Эвелина Энверовна	ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности
Кайда Анна Ивановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирантка кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: kaydaanna@gmail.com
Кацев Андрей Моисеевич	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской и фармацевтической химии, e-mail: katsev@mail.ru
Коба Владимир Петрович	ФГБУН «НБС–ННЦ», доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесоведения
Колесник Виктория Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Коренькова Олеся Олеговна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры садово-паркового хозяйства и ландшафтного проектирования, e-mail: o.o.korenkova@mail.ru
Корж Елена Николаевна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химия»
Корсакова Светлана Павловна	ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитомониторинга, e-mail: korsakova2002@mail.ru
Криворутченко Юрий Леонидович	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой Микробиологии, вирусологии и иммунологии

Малыгина Вероника Юрьевна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», ассистент кафедры Микробиологи, вирусологии и иммунологии
Махин Сергей Анатольевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей психологии и психофизиологии, e-mail: smakhin@inbox.ru
Морозкина Екатерина Владимировна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, ассистент кафедры медицинской и фармацевтической химии, e-mail: emorozkina@mail.ru
Муминова Ленара Ленмаровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Мутошвили Лия Решитовна	ФБГОУ ВО Кировский государственный медицинский университет, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры гистологии
Нагаева Елена Ивановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Написанова Людмила Александровна	ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт паразитологии им. К.И. Скрабина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии и клеточных технологий
Павленко Владимир Борисович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, заведующий кафедрой общей психологии и психофизиологии, e-mail: vpav55@gmail.com
Палий Анфиса Евгеньевна	ФГБУН «НБС – ННЦ», кандидат биологических наук, зав. лабораторией биохимии, физиологии и репродуктивной биологии растений, e-mail: onlabor@yandex.ru
Палий Иван Николаевич	ФГБУН «НБС – ННЦ», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии, физиологии и репродуктивной биологии растений, e-mail: runastep@yandex.ru

Пивоварчук Анастасия Валериевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Раваева Марина Юрьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Рахманова Севара Алишеровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 1 курса магистратуры кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Сафронова Нина Степановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий
Сафронова Полина Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», инструктор по физической культуре Центра физической подготовки студентов
Сахно Татьяна Михайловна	ФГБУН «НБС–ННЦ», младший научный сотрудник лаборатории лесоведение
Старцева Ольга Валентиновна	ФГБУН «НБС – ННЦ», инженер-исследователь лаборатории биохимии, физиологии и репродуктивной биологии растений, e-mail: eco_ark@mail.ru
Степанова Ольга Арсентьевна	ФГБУ Институт природно-технических систем (ИПТС), Центр автоматизации морских исследований (ЦАМИ), Лаборатория гидрофизических и биоэлектронных измерительных систем (ГиБИС), кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник
Титов Иван Юрьевич	Институт ботаники АНА, научный сотрудник, e-mail: titov_ivan86@mail.ru
Токинова Римма Петровна	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией гидробиологии, e-mail: r.tokin@rambler.ru
Трибрат Александр Георгиевич	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, ассистент кафедры нормальной физиологии

Трибрат Наталья Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Устименко Валерий Николаевич	Академия биоресурсов и природопользования (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры земледелия и агрономической химии, e-mail: uvn_@mail.ru
Ходаков Геннадий Васильевич	Академия биоресурсов и природопользования (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры технологии и оборудования производства жиров и эфирных масел, e-mail: gennadii-hodakov@mail.ru
Чуян Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Шейх-Заде Мамет-Исмет	ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», кафедра электромеханики и сварки, кандидат физико-математических наук, доцент
Шемшединова Эльвиса Шавкатовна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», ассистент кафедры медицинской и фармацевтической химии.
Эйсмонт Евгения Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Яковишин Леонид Александрович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия», e-mail: chemsevntu@rambler.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Чуян Е. Н.**
КРЫМСКАЯ ШКОЛА МАГНИТОБИОЛОГИИ 3
- Абрамова К. И., Токинова Р. П.**
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ ФИТОПЛАНКТОНА КАЗАНСКОГО
ЗАЛИВА 15
- Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б.**
ЛЮДИ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ОБЩЕГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЕМОСТРИРУЮТ
БОЛЕЕ ВЫРАЖЕННУЮ ДЕСИНХРОНИЗАЦИЮ МЮ-РИТМА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ
ЗА ДЕЙСТВИЯМИ ДРУГИХ 26
- Бебия С. М., Джакония Е. Ф., Титов И. Ю.**
МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ДЕКОРАТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ
КАВКАЗА..... 35
- Жданова О. Б., Написанова Л. А., Мутушвили Л. Р.**
НЕКОТОРЫЕ МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ У МЫШЕЙ,
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ЗАРАЖЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ДОЗАМИ *T. SPIRALIS*..... 51
- Ибрагимова Э. Э.**
ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАЛЬЦЕВОЙ ДЕРМАТОГЛИФИКИ И ТЕМПЕРАМЕНТА 58
- Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Муминова Л. Л., Махин С. А.**
РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ У ДЕТЕЙ 6-9 ЛЕТ В
УСЛОВИЯХ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО
ДВИЖЕНИЯ 69
- Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Рахманова С. А., Павленко В. Б.**
СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ И УРОВНЯ КОГНИТИВНОГО РАЗВИТИЯ У
ДЕТЕЙ 4-6 ЛЕТ 79
- Коба В. П., Сахно Т. М.**
ОЦЕНКА СИНЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ *IN VITRO* 92
- Коренькова О. О.**
ОЦЕНКА ФИТОГЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАРКОВЫХ СООБЩЕСТВ НА
ПРИМЕРЕ МБУК «ДЕТСКИЙ ПАРК» (Г. СИМФЕРОПОЛЬ) 102
- Корсакова С. П.**
РЕАКЦИЯ ФЕНОИНДИКАТОРОВ УМЕРЕННЫХ ШИРОТ НА ИЗМЕНЕНИЕ
КЛИМАТА В СУХИХ СУБТРОПИКАХ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ..... 109
- Малыгина В. Ю., Андроновская И. Б., Криворутченко Ю. Л., Гришковец В. И.**
СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРОРАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ САПОНИНА
ТАУРОЗИДА Sx1 НА ВЫРОБОТКУ АНТИТЕЛ ПРИ ИММУНИЗАЦИИ
РАЗЛИЧНЫМИ ПРОТИВОГРИППОЗНЫМИ ВАКЦИНАМИ..... 125

Павленко В. Б., Аликина М. А., Махин С. А. ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОВНЕЙ ОБЩЕГО И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА С АМПЛИТУДОЙ АЛЬФА- И БЕТА-РИТМОВ ЭЭГ ПОКОЯ.....	134
Палий А. Е., Палий И. Н., Старцева О. В. ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ СОРТОВ <i>OLEA EUROPAEA</i> L. С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ МОРОЗОСТОЙКОСТИ.....	143
Раваева М. Ю., Чуян Е. Н., Пивоварчук А. В., Колесник В. В. ТКАНЕВАЯ МИКРОГЕМОДИНАМИКА ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ОСТРОГО СТРЕССА	151
Сафронова Н. С., Нагаева Е. И., Сафронова П. С. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРЕНИНГА С БИОУПРАВЛЕНИЕМ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОК ЗАНИМАЮЩИХСЯ БАДМИНТОНОМ	163
Степанова О. А. МОНИТОРИНГ АЛЬГОВИРУСОВ ИНДИКАТОРНЫХ К ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ <i>TETRASELMIS VIRIDIS</i> И <i>PHAEODACTYLUM</i> <i>TRICORNUTUM</i> В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ (2002–2018 гг.).....	174
Чуян Е. Н., Джелдубаева Э. Р., Раваева М. Ю., Заячникова Т. В. ЭФФЕКТЫ ПЕРЕКРЕСТНОЙ АДАПТАЦИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТРЕСС- ФАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ.....	182
Чуян Е. Н., Трибрат Н. С., Трибрат А. Г. ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ РЕГУЛЯЦИИ ТКАНЕВОГО КРОВОТОКА ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	196
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Морозкина Е. В., Шемшединова Э. Ш., Абдураманова Э. Р., Кацев А. М. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА КАК НОСИТЕЛЯ В ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ЭЛЕМЕНТЕ БИОСЕНСОРА.....	208
Устименко В. Н., Ходаков Г. В. ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИРОДНОГО БИОСИНТЕЗА МОНОТЕРПЕНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ РАСТЕНИЙ РОДА <i>ARTEMISIA</i>	219
Шейх-Заде М. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ФЕНИЛАНТРАНИЛОВАЯ КИСЛОТА-ТЕТРАГИДРОФУРАН ПО ИК СПЕКТРАМ ПОГЛОЩЕНИЯ.....	242
Яковишин Л. А., Корж Е. Н., Гришковец В. И. МОЛЕКУЛЯРНЫЙ КОМПЛЕКС КВЕРЦЕТИНА С ГЛИЦИРАМОМ: ПОЛУЧЕНИЕ И ИК-ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	247
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	255
СОДЕРЖАНИЕ	260