

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

Том 7 (73), № 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, 2021

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 № 6 от 5 октября 2021 г.**

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

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

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

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

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

Раздел «Биология»:

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

Раздел «Химия»:

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

Подписано в печать 19.10.2021. Формат 70x100 1/16.

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

Дата выхода в свет «__» _____ 2021 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 7 (73). 2021. № 3. С. 3–29.

УДК 598.2

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ФАУНЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Гашек В. А., Красуцкий Б. В.

¹Международный аэропорт «Челябинск», Челябинск, Россия

²Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

E-mail: gashkek_va@mail.ru

Цель настоящей работы – актуализация сведений по численности, распространению, характеру пребывания и лимитирующим факторам ряда видов птиц, внесенных в Красную книгу Челябинской области (2017) и требующих внесения в ее новое издание. Исследования проведены в 2017–2021 гг. во всех природных зонах Челябинской области. Получены новые данные по численности, распространению, характеру пребывания и угрозах для 24 видов птиц из 11 отрядов, существенно дополняющие сведения, содержащиеся в региональной Красной книге. Найдены новые места гнездования *Mergus merganser*, *Falco peregrinus*, *Strix nebulosa*, *Accipiter gentilis*, вероятного гнездования *Gavia arctica*, *Pernis apivorus*, *Glareola nordmanni* и *Alcedo atthis*. Подтверждены факты размножения *Haematopus ostralegus* в местах прежних встреч. Зарегистрированы новые залеты *Pelecanus onocrotalus*, *Buteo rufinus*, *Circaetus gallicus* и *Hieraetus pennatus*. Получены данные, свидетельствующие о дальнейшем расширении ареала *Tetrax tetrax* на север. Состояние *Columba oenas*, *Picus canus* и *Picoides tridactylus* оценивается как неблагоприятное. Подтверждено удовлетворительное состояние *Cinclus cinclus* и *Zoothera varia* и крайне низкое обилие *Ocyris rusticus*.

Ключевые слова: птицы; численность; ареал; гнездование; Красная книга

ВВЕДЕНИЕ

Изучение текущего состояния популяций редких и охраняемых видов животных – неотъемлемая часть мониторинга биоты. При подготовке региональных Красных книг такие исследования особенно актуальны и должны проводиться ежегодно. Своевременное внесение редких видов фауны, в том числе птиц, в Красные книги различных уровней является основой для реализации мер по их сохранению. Одной (и, несомненно, самой действенной) является создание ООПТ различного уровня. При этом реальную охрану как самих видов, так и их местообитаний обеспечивают в первую очередь заповедники [1]. В совокупности существующие и проектируемые ООПТ формируют каркас для сохранения высокого уровня видового разнообразия птиц и поддержания численности их природных популяций [2].

После выхода в свет нового издания Красной книги Челябинской области [3] прошло более трех лет. За это время появились новые данные о численности и распространении многих внесенных в нее видов птиц, а по некоторым видам подтверждены сведения о находках. Кроме того, стало очевидным, что некоторые виды заслуживают включения в Красную книгу или в Приложение 3 к ней (Перечень объектов животного и растительного мира, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде).

Стоит отметить, что орнитологические исследования в Челябинской области, особенно в лесной зоне, расположенной на ее западе и северо-западе, в последние 20 лет носили крайне ограниченный и фрагментарный характер. В результате изученность состояния большинства видов птиц этой территории остается очень слабой. Материалы данной статьи в определенной степени восполняют этот пробел.

В статье приведены новые регистрации авторами ряда редких и малочисленных видов птиц Челябинской области, опубликованные после издания региональной Красной книги [3] данные других исследователей, а также любезно предоставленная нам информация нескольких респондентов, перечисленных в конце статьи.

Цель настоящей работы – актуализация сведений по численности, распространению, характеру пребывания и лимитирующим факторам ряда видов птиц, внесенных в Красную книгу Челябинской области и нуждающихся во внесении в ее новое издание.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в апреле – августе 2017–2021 гг. на территориях 9 заказников (Ашинский, Аршинский, Серпиевский, Нязепетровский, Шабуровский, Донгузловский, Уйский, Карагайский и Черноборский) и 10 памятников природы (Челябинский (городской), Каштакский и Травниковский боры, «Участок реки Уфа между Тимофеевым и Зайкиным камнями», «Участок реки Багаряк от базы отдыха «Березка» до устья», «Река Юрюзань от Смирновского моста до устья реки Наси», «Река Тюлюк», «Озеро Светленькое», «Вершина хребта Бакты», «Большой камень») Челябинской области, расположенных во всех природных зонах региона (лесной, лесостепной и степной). Кроме того, обследовали природные объекты, не имеющие природоохранного статуса. Места наблюдений отражены на рисунке 1.

Главной целью исследований было изучение фауны и структуры населения птиц региональных ООПТ Челябинской области и некоторых территорий, не имеющих природоохранного статуса. Для получения количественных характеристик населения птиц применяли как маршрутные, так и площадочные методы учета. Первые использовали в обширных лесных и открытых местообитаниях, их проводили по методике Ю. С. Равкина [4] без ограничения учетной полосы. В небольших по площади местообитаниях использовали сплошной учет в пределах каждого выдела с картированием встреч и токовых территорий. Помимо этого, поиск редких и малочисленных видов, которым посвящена настоящая работа, проводился на нефиксированных маршрутах и в процессе экскурсионных обследований в светлое время суток в рамках основных задач по выявлению фауны и структуры населения птиц. Предварительно с помощью

картографического материала выбирали территорию с наибольшим разнообразием местообитаний, а также с наличием специфических (предпочитаемых некоторыми видами птиц) элементами ландшафта: скалами, старовозрастными участками леса, речными поймами и т.п. Для поиска гнёзд применяли следующие основные способы. Выпугивание: при обследовании местообитания регистрировали птицу, покидающую гнездо. Выслеживание: отслеживали возвращение насиживающей птицы на гнездо с расстояния, на котором оба члена пары перестают беспокоиться, или из укрытия. Сплошной поиск: осматривали потенциально пригодные для устройства гнёзд участки фаций. Попутный характер выявления редких видов на обследуемых объектах объясняет избирательность в подходе к написанию в данной работе очерков по тем или иным видам.

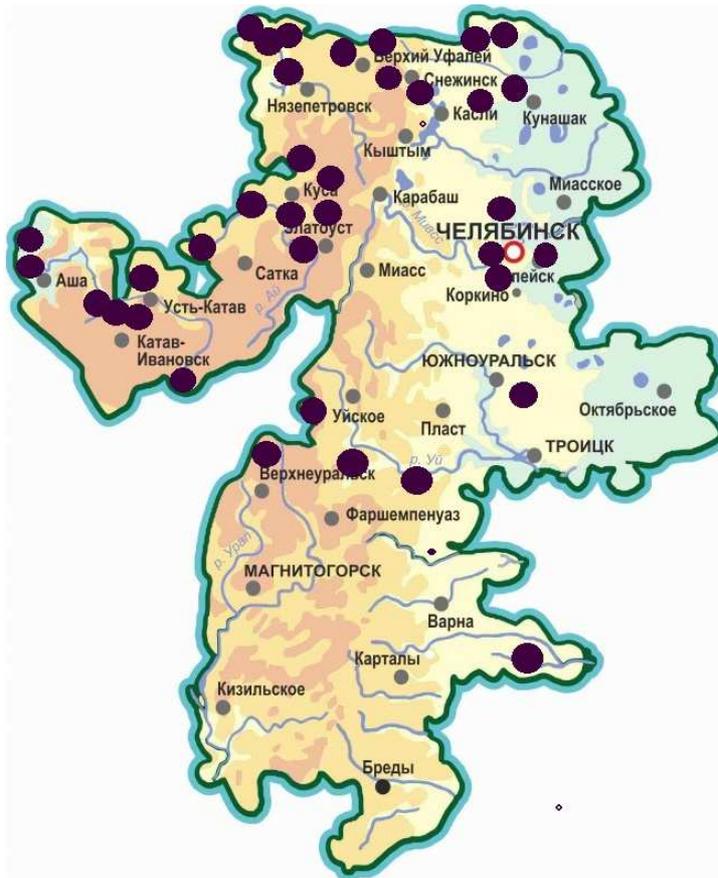


Рис. 1. Места проведения орнитологических исследований в Челябинской области в 2017–2021 гг.

Птиц обнаруживали визуально (с помощью биноклей), по голосам, гнездам и останкам. Названия видов птиц и порядок их перечисления соответствуют «Списку птиц Российской Федерации» [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные исследований по редким видам птиц изложены в форме повидовых очерков. В работе применен «экстенсивный» подход [6] к картографическому изображению распространения редких видов птиц Челябинской области.

Чернозобая гагара *Gavia arctica* (Linnaeus, 1758).

Внесен в региональную Красную книгу (III категория – редкий вид). На оз. Мал. Игиш в южной части Шабуровского заказника (Каслинский район) 2 и 4 мая 2019 г. наблюдали, соответственно, одну птицу и пару. По полученным сведениям, на этом водоеме ежегодно гнездятся до 7 пар, а В.Д. Захаров в 2008 г. встретил здесь пару с 2 птенцами [7]. Пару гагар отметили 5 мая 2019 г. на оз. Светленькое, расположенном у южной оконечности р.п. Вишневогорск (по опросным данным, птицы на этом озере гнездятся), у северо-восточного берега оз. Бол. Аллаки 9 мая наблюдали трех птиц без выводков. На карьере железорудного месторождения «Радостное» у южной границы Аршинского заказника (Кусинский район) 30 июля встретили пару (рис. 2). Позднее выяснилось, что гагары здесь гнездились – в первой декаде августа вместе с взрослыми птицами видели молодую. О встречах неразмножающихся гагар на этом карьере неоднократно упоминалось ранее [8, 9]. Важная роль техногенных водоемов для сохранения и увеличения численности редких видов птиц в регионах подчеркивалась неоднократно [10, 11].

Розовый пеликан *Pelecanus onocrotalus* Linnaeus, 1758. Внесен в Приложение 3 Красной книги Челябинской области на основании единственной встречи на территории региона [12]. В октябре 2017 г. стало известно о новом залете молодой птицы в Варненский район [13] (рис. 2). Вид активно расселяется на север [14, 15], есть основания предполагать в дальнейшем более регулярное присутствие летующих особей на водоемах области, а, возможно, и гнездование вида.

Большой крохаль *Mergus merganser* Linnaeus, 1758.

Численность вида для Южного Урала оценивалась в 1–1.5 тыс. особей [16]. С 1937 по 1951 г. был обычен на гнездовании в Ильменском заповеднике [175], но в 70-е годы XX в. В. Н. Гурьевым там уже не был обнаружен. В период 1981–2019 гг. – снова появился благодаря снижению фактора беспокойства [18]. На рубеже XX и XXI вв. встречался в горных и предгорных р-нах Южного Урала на реках Кужа и Нугуш (10 особей/10 км береговой линии) в Башкирии [19], в Челябинской области на реках Сим (5 особей/10 км береговой линии) и Бол. Березяк (10 особей/10 км береговой линии) [16].

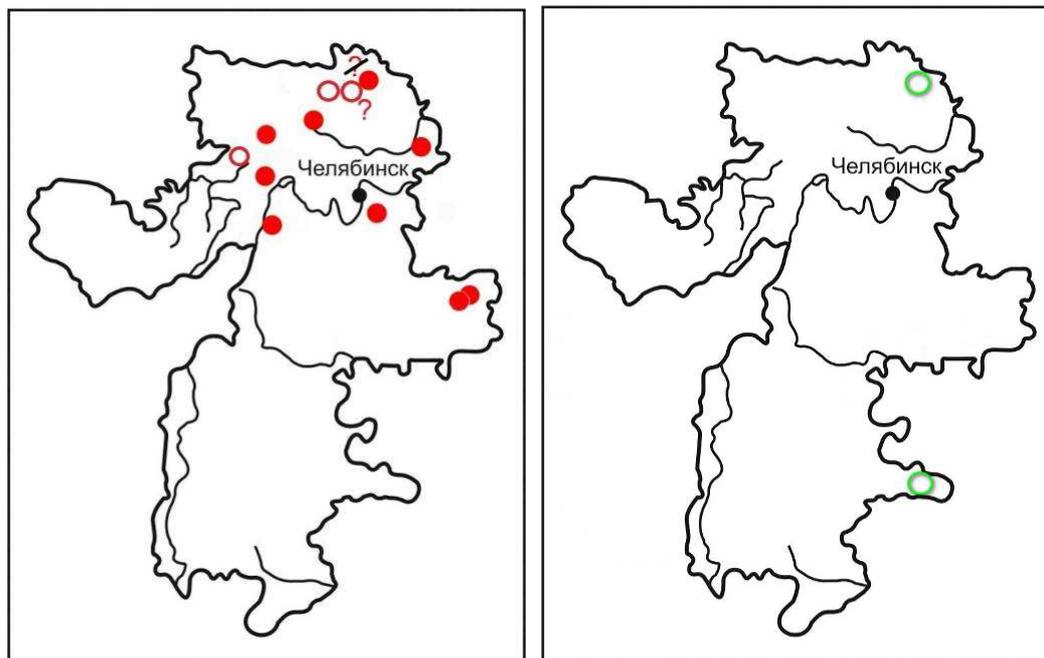


Рис. 2. Находки чернозобой гагары *Gavia arctica* (слева) и розового пеликана *Pelecanus onocrotalus* (справа).

Примечание: Здесь и далее на рисунках сплошным красным кружком обозначены гнездовые находки вида по материалам Красной книги Челябинской области (2017), красным кружком без заливки – новые гнездовые находки; ? (рядом с кружком) – предположительное гнездование вида; ✕ (рядом с кружком) – подтвержденное гнездование вида в месте, где оно предполагалось по материалам Красной книги (2017). Сплошным зеленым кружком обозначены негнездовые находки вида по материалам Красной книги Челябинской области, зеленым кружком без заливки – негнездовые находки после выхода Красной книги. Цвета значков соответствуют таковым в Красной книге.

В последнее десятилетие на юге Западной Сибири большой крохаль – редкий гнездящийся вид со снижающейся численностью, область распространения которого за прошедшее столетие сместилась к северу [20]. За четыре полевых сезона (2017, 2019, 2020 и 2021 гг.) исследований на территории лесной зоны Челябинской области, где более всего вероятны гнездовые находки данного вида, мы нашли его только на участке р. Уфа в окрестностях сел Арасланово и Шемаха Нязепетровского р-на: в период с 7 по 27 июля 2020 г. здесь отметили 3 выводка из 5, 9 и не менее 5 птенцов. Еще в одном месте – на оз. Увильды в Аргаяшском районе – выводок примерно из 10 хлопунцов 22 июля 2018 г. наблюдал В.В. Тарасов (личное сообщение).

Считаем необходимым внесение этого, безусловно, редкого вида в региональную Красную книгу с категорией III.

Обыкновенный осоед *Pernis apivorus* (Linnaeus, 1758).

Редкий вид на территории Челябинской области, внесен в региональную Красную книгу (III категория). Новые встречи вида в гнездовой период зарегистрированы в 2017 и 2018 гг. в урочище Леоновские горы, Нязепетровском и Уйском заказниках, Челябинском бору, на р. Багаряк в Каслинском районе [13, 21]. Трех птиц (вероятно, пару с молодым) наблюдали 31 июля 2019 г. у северной границы Аршинского заказника, двух кружащих с криками птиц – днем позже в 3 км юго-восточнее, возле пос. Александровка. Регулярные встречи осоеда в Аршинском заказнике [22, 23, 9] позволяют предполагать его гнездование на этой территории. Одиночных птиц отметили у северной границы Шабуровского заказника в окрестностях д. Пьянкова и над центральной частью Каштакского бора 16 августа 2019 г. и 27 июня 2020 г., соответственно. В период с 7 по 27 июля 2020 г. одиночных осоедов и пары (а, возможно, взрослого с молодым) регулярно встречали в окрестностях с. Арасланово Нязепетровского р-на, что указывает на вероятное гнездование там как минимум одной пары. Не менее 3 пар ежедневно наблюдали в южной части Ашинского заказника в июле 2021 г., что, несомненно, свидетельствует о гнездовании вида (рис. 3).

Тетереvyтник *Accipiter gentilis* (Linnaeus, 1758).

Внесен в Приложение 3 Красной книги Челябинской области как вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде. Ко времени выхода в свет нового издания региональной Красной книги фактов гнездования тетереvyтника на территории региона имелось очень немного [24]. Позднее появились публикации о новых гнездовых находках вида в разных административных районах области – Увельском, Троицком, Верхнеуральском [25, 13]. В августе 2019 г. одиночную птицу встретили у южной границы Аршинского заказника. Охотящихся на серых куропаток тетереvyтников регулярно наблюдали в аэропорту Челябинск на протяжении 2019–2021 гг. Вероятно, сюда прилетают птицы из Каштакского бора, где они предположительно гнездятся [13], расстояние до которого составляет около 1.5 км. Гнездо с большим оперенным птенцом обнаружили 26 июля 2021 г. в Челябинском бору.

Курганник *Buteo rufinus* (Cretzschmar, 1827).

Очень редкий вид для Челябинской области. Внесен в региональную Красную книгу (IV категория – вид с неопределенным статусом). Предполагали гнездование в Кизильском районе [26]. Единичные залеты курганника в северную лесостепь регистрировали в 2003 и 2010 гг. [27, 28].

Новый залет в северную лесостепь зарегистрирован в 2019 г. (рис. 3). Крупную годовалую самку, сидящую на проводах линии электропередач (ЛЭП) у дороги Бродокалмак – Алабуга возле оз. Тирикуль в Красноармейском р-не, наблюдали 10 сентября 2019 г., а через 2 дня нашли ее мертвой под той же ЛЭП. Для предотвращения гибели многих уязвимых видов, в том числе курганника, необходимо оборудование ЛЭП птицезащитными устройствами. Приводим размеры

этой особи: масса – 1500 г, длина – 62.0 см, крыло – 48.4 см, размах – 153.0 см, хвост – 25.3 см.

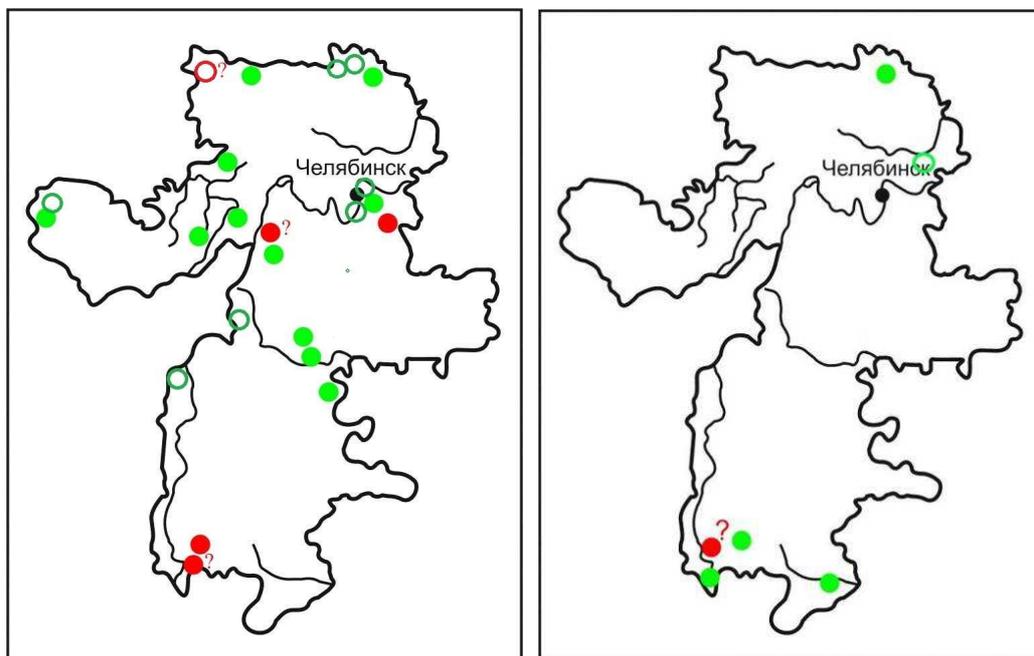


Рис. 3. Находки обыкновенного осоеда *Pernis apivorus* (слева) и курганника *Buteo rufinus* (справа).

Змеяед *Circaetus gallicus* (J.F. Gmelin, 1788).

Вид не включен в Красную книгу Челябинской области [3], несмотря на сообщение о встрече взрослой птицы в гнездовой период в Октябрьском районе [29]. В 2018 г. залетную травмированную молодую особь подобрали в Каштакском бору на окраине г. Челябинска [13] (рис. 4). Считаем необходимым внести вид в Приложение 3 Красной книги Челябинской области.

Орёл-карлик *Hieraetus pennatus* (J.F. Gmelin, 1788).

Залеты данного вида крайне редко отмечаются на юге Челябинской области [24]. Отсутствие сведений о встречах орла-карлика в регионе, возможно, объясняется тем, что его принимают за обыкновенного канюка *Buteo buteo*, а также нежеланием публиковать «бездоказательные» данные (в случаях, когда они не подкреплены фото- или видеоматериалами). В. П. Белик [30] объясняет отсутствие орла-карлика в Заволжье и на Южном Урале возможным викариатом с *Aquila heliaca*, который, будучи более сильным конкурентом, вытесняет карлика. Залетную птицу темной морфы наблюдали 18 июня 2019 г. на юго-западной границе Донгузловского заказника (Красноармейский район) (рис. 4). В течение 3-часового обследования она несколько раз встречалась нам в полете над осиново-березовыми

колками, чередующимися с разнотравно-злаковыми лугами и залежами. Несколько встреч этого орла (также темной морфы, в том числе токующих особей) в течение апреля 2009 г. регистрировали в близких к Красноармейскому Альменевском и Сафакулевском районах Курганской области [31]. Есть указание на вероятную связь расширения ареала карлика на север и северо-восток с потеплением климата [32], что в совокупности с фактами встреч вида в Южном Зауралье дает основания предполагать здесь его эпизодическое гнездование. Считаем целесообразным внесение вида в Приложение 3 Красной книги Челябинской области.

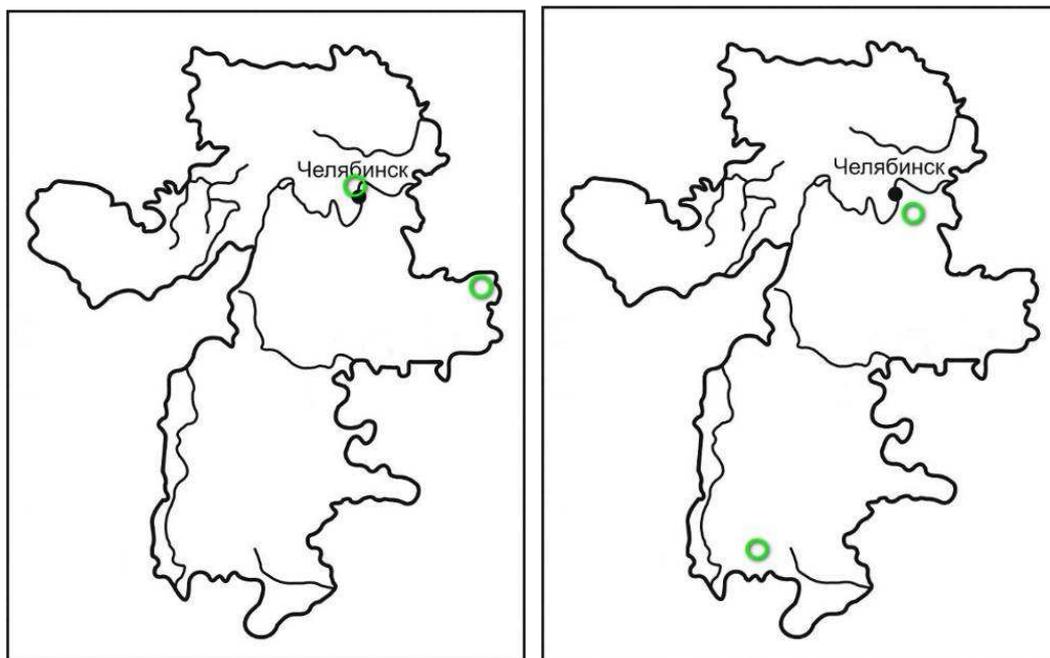


Рис. 4. Находки змееяда *Circaetus gallicus* (слева) и орла-карлика *Hieraetus pennatus* (справа).

Сапсан *Falco peregrinus* Tunstall, 1771.

Внесен в Красную книгу Челябинской области (III категория). Выявлено несколько новых мест подтвержденного гнездования вида: в южной части Нязепетровского заказника [33,13], на скалах правого берега р. Багаряк в окрестностях одноименного села в Каслинском районе [21], в центральной части Карагайского заказника [21] (Гашек и др., 2019). При обследовании памятника природы «Большой Камень» 12 мая 2019 г. со скальных останцев вспугнули взрослую птицу, которая с тревожными криками принялась летать вокруг скал. Следы помета на скалах, обнаруженные у их подножия поеди (перья голубей, сорок и др. птиц) и беспокойное поведение сокола не оставляли сомнений в его гнездовании. Это – новое для Челябинской области место обитания сапсанов. Гнездование сапсана на скалах в окрестностях с. Арасланово, предполагавшееся

ранее [34], подтверждено исследованиями 2020 г.: на скалах правого берега р. Уфа в окрестностях с. Арасланово в первой декаде июля обнаружили характерные потеки помета и перья сапсана, а также многочисленные поеди; там же регулярно наблюдали двух молодых, а также пару взрослых птиц, приносящих им добычу. Двух молодых сапсанов, недавно покинувших гнездо, дважды – 12 и 14 июля 2019 г. наблюдали в полете над северной частью хр. Бакты, где, по всей видимости, гнездилась пара. Кружившую птицу отметили 3 августа 2019 г. над карьером «Радостный», где в том году вновь гнездилась пара, о которой сообщалось ранее [23, 9]. Стало известно о гнездовании пары на протяжении 6 лет (с 2014 по 2019 гг.) на скалах в урочище Леоновские горы, в окрестностях пос. Вятский Верхнеуральского района [35] (рис. 5). Главными угрозами для вида в урочище являются степные пожары, выпас скота, беспокойство со стороны человека и браконьерство (в 2014 г. была уничтожена кладка, в 2015 – гнездовые птенцы, в эти же годы были зарегистрированы попытки отстрела у гнезда взрослых птиц). Пару с одним недавно вылетевшим молодым регулярно наблюдали в июле 2021 г. на прибрежной скале с гротом на берегу р. Аша у южной границы Ашинского заказника выше по течению пос. Точильный. Есть данные о гнездовании пары сапсанов в 2011 г. в г. Аша (около 30 км к югу от найденной нами пары) [36]. Серьезным лимитирующим фактором для сапсана является и рекреационный пресс, поскольку скалы, являясь основным его гнездовым биотопом, обладают высокой аттрактивностью для туристов, что отмечают орнитологи как в Челябинской области, так и в других регионах [37–38, 39]. Кроме того, значительный ущерб виду наносит преследование со стороны голубеводов [40, 41, наши данные]. Считаем необходимым придание статуса ООПТ уровня не ниже комплексного регионального заказника урочищу Леоновские горы для сохранения гнездовья сапсана, гнездовой группировки могильника *Aquila heliaca*, а также ряда других редких видов птиц, о чем сообщали ранее [35].

Белая куропатка *Lagopus lagopus* (Linnaeus, 1758).

Редкий вид, внесен в региональную Красную книгу (III категория). За последние 15–17 лет численность белой куропатки в регионе сильно сократилась [42, 21]. В последние 5–6 лет зафиксированы несколько новых регистраций вида на востоке области. Так, в Октябрьском районе весной 2019 г. на территории площадью около 10 км² с автомобиля отмечены 9 пар, а в июле встречены 2 выводка [43]. При этом в 2016 г. в том же районе с 7 мая по 23 июня удалось встретить лишь одну пару [44]. По нашим сведениям, в окрестностях с. Юшково Каслинского района в пойме р. Топка с обилием тальника ежегодно зимой в 2015–2017 гг. встречали по 14–16 птиц. В Селиткульском заказнике (Октябрьский район) весной 2019 г. видели 2 пары белых куропаток после нескольких лет отсутствия. В Бускульском заказнике (Чесменский район) в 2019 г. наблюдали 2 пары (рис. 5), хотя на протяжении 6 последних лет здесь держалась лишь одна пара [13].

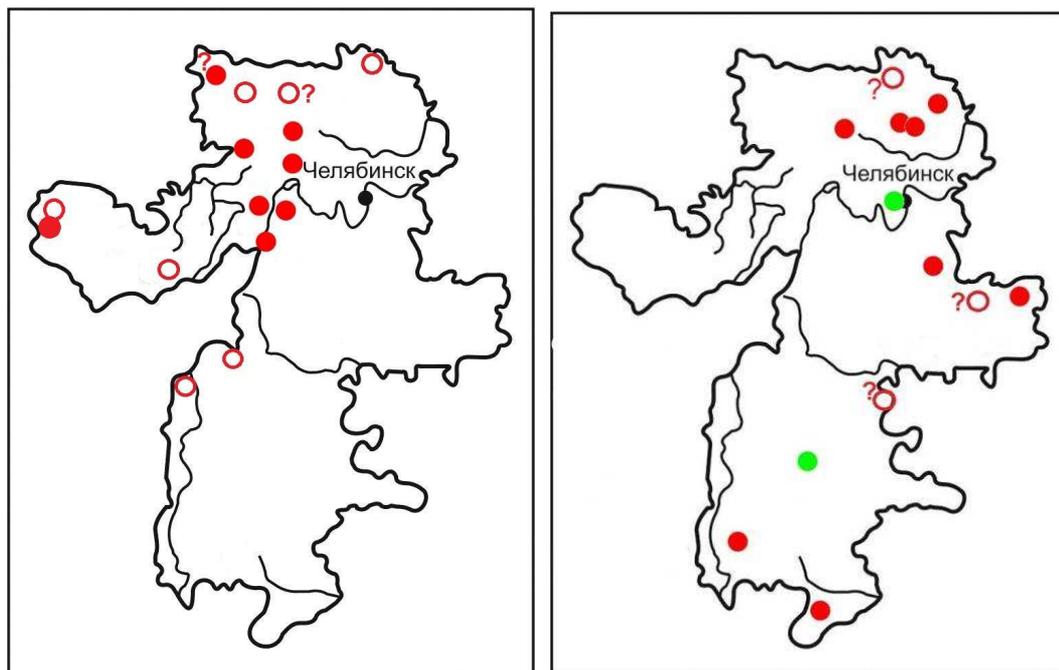


Рис. 5. Находки сапсана *Falco peregrines* (слева) и белой куропатки *Lagopus lagopus* (справа).

Стрепет *Tetrax tetrax* (Linnaeus, 1758).

Редкий вид, внесенный в Красную книгу Челябинской области (III категория). В последние 2–3 десятилетия отмечается продвижение вида на север [43]. Уже после выхода издания региональной Красной книги [3] появились новые сведения о залетах и местах предполагаемого гнездования стрепета. Одиночный предположительно залетный самец встречен в апреле 2017 г. в окрестностях г. Миасс [45]. Пару птиц неоднократно наблюдали в гнездовой период 2018 г. в Аргаяшском районе [46]. Токующего самца зарегистрировали 22 мая 2017 г. в окрестностях пос. Редутово Чесменского района [13], одиночного самца – 12 мая 2018 г. в окрестностях д. Аткуль Еткульского района [25]. По сведениям респондентов, стаю из 25, вероятно, неполовозрелых самцов в брачном наряде в долине р. Берсуат юго-восточной части Брединского заказника наблюдали 17 июня 2019 г. В Бускульском заказнике (рис. 6) в 2019 г. стрепеты встречались чаще, чем в предыдущие годы, во второй половине августа неоднократно отмечали от 1 до 3 птиц.

Степная тиркушка *Glareola nordmanni* J. G. Fischer, 1842.

В Челябинской области – редкий вид. Внесен в региональную Красную книгу (III категория). Птицу, проявляющую сильное гнездовое беспокойство, наблюдали 18 июня 2019 г. на поле со всходами зерновых, расположенном у западной границы Донгузловского заказника (Красноармейский район) (рис. 6). Это одна из самых

северных точек вероятного гнездования вида в Челябинской области. В 1996–1999 гг. в 30 км к северо-востоку от болота Донгузлы на оз. Катай существовала колония из 5–25 пар тиркушек [47].

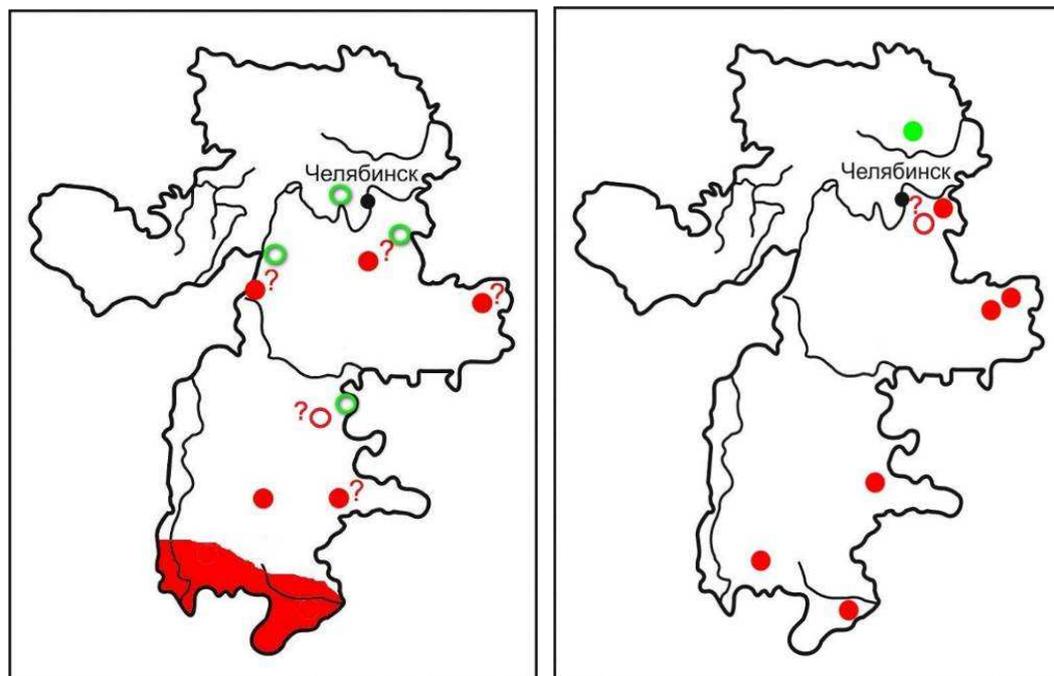


Рис. 6. Находки стрепета *Tetrax tetrax* (слева) и степной тиркушки *Glareola nordmanni* (справа).

Кулик-сорока *Haematopus ostralegus* Linnaeus, 1758.

Редкий вид, внесенный в Красную книгу Челябинской области (III категория). В период с 7 по 27 июля 2020 г. на участке р. Уфа между селами Арасланово и Шемаха практически ежедневно (и неоднократно в течение дня) наблюдали пару птиц с одним молодым, кормящихся или отдыхающих на галечных отмелях и перелетающих то вверх, то вниз по течению. Птицы хорошо идентифицировались по отсутствию пальцев на левой лапе у одной из взрослых особей. В этом же месте в 2006 г. отмечали одиночную птицу в гнездовой период [48] и беспокоящуюся пару, активно атакующую серых ворон [49].

Обыкновенная горлица *Streptopelia turtur* (Linnaeus, 1758).

Внесен в Красную книгу Челябинской области (II категория – вид с сокращающейся численностью). Последние 20 лет на территории региона и большей части российского ареала вид находится в глубокой депрессии [3]. Единичных пролетных птиц встречали в этот период в Южно-Уральском заповеднике в 2001, 2003, 2005 и 2006 гг. [50]. Последние два десятилетия XX века

эта горлица еще оставалась обычным видом Восточно-Уральского заповедника [51]. Учеты численности обыкновенной горлицы, проведенные В. Д. Захаровым [16] в лесостепном Зауралье в 1985–1997 гг. в осиново-березовых колках (0.8–6 ос/км²), островных борах (0.5–3 ос/км²) и по заросшим поймам рек (1.5–2 ос/км²), в степных районах – по приречным зарослям (2–3 ос/км²), указывают на довольно благополучное ее состояние в тот период. В 2001–2005 гг. в окрестностях оз. Маян Кунашакского района ежегодно учитывали от 1 до 3 самцов [12].

После выхода Красной книги (2017) о новых встречах вида на территории области упоминал только В. Д. Захаров с соавторами. В 2017 г. две пары отмечены в Варламовском заказнике (Чебаркульский район) [8]. Воркование нескольких самцов слышали в июне 2018 г. в Ильменском заповеднике [46] и еще двух – в июле 2019 г. в Брединском бору [43] (рис. 7). В своих исследованиях мы особенно тщательно обследовали местообитания, наиболее предпочитаемые обыкновенной горлицей, – опушки лесных массивов и участки пойменных лесов и урем. Однако поиски не увенчались успехом.

Клинтух *Columba oenas* Linnaeus, 1758.

Вид стал редким на территории Европейской России в последние 2–3 десятилетия XX века [52, 53]. Из возможных причин такого сокращения названы увеличение численности естественных врагов клинтуха – тетеревятника и лесной куницы *Martes martes* [52]. Большинство исследователей орнитофауны Урала также отмечают снижение обилия клинтуха за последние 10–15 лет [54–56, 31, 44, 21]. Возможно, причинами этого также является пресс хищников – тетеревятника и лесной куницы, которые, по нашим наблюдениям, не редки в большинстве районов Челябинской области. Кроме того, лимитировать численность вида может дефицит дупел достаточного для него размера. За последние 3 года мы встречали клинтуха преимущественно во время миграций или послегнездовых кочевок [42, 21]. Новые встречи вида в 2019 г. позволяют предполагать его гнездование в небольшом числе в Шабуровском заказнике и окрестностях: одиночную птицу наблюдали 12 мая вблизи его юго-западной границы; с 11 по 18 августа стайки от 3 до 6 клинтухов неоднократно отмечали в северной части заказника и рядом с пос. Шабурово. Одиночную птицу отметили 12 июня над поймой р. Аша в окрестностях пос. Точильный, трех птиц – 14 августа возле восточной окраины г. Касли. Токование самца наблюдали в середине июня 2021 г. в окрестностях аэропорта Челябинск. В Травниковском бору одиночную птицу и пару встретили соответственно 29 августа 2019 г. и 2 мая 2020 г. Пара держалась на одной из опор ЛЭП, проходящей через центральную часть бора, в пустотах которой, возможно, гнездилась. Данные, указывающие на формирование новой экологической расы клинтуха в европейской части России, перешедшей к гнездованию в полых бетонных опорах высоковольтных ЛЭП среди полей, можно найти у целого ряда авторов [57–61].

Возможно, процесс возвратной урбанизации, который у данного вида в последние десятилетия наблюдается на Украине и юге России [62], позволит ему в будущем освоить урбанизированный ландшафт в качестве гнездовых станций и в Южном Зауралье и, таким образом, со временем восстановить численность.

Считаем необходимым внесение вида в Приложение 3 к Красной книге Челябинской области.

Серая неясыть *Strix aluco* Linnaeus, 1758.

Вид внесен в Красную книгу Челябинской области (IV категория). Встречи этой совы за последние 20 лет оказались единичными. В 2000 и 2006 гг. кочующая пара и одиночная птица зарегистрированы, соответственно, на окраине г. Каменск-Уральский [63] и в окрестностях с. Усть-Багаряк Кунашакского района [64]; гнездо с птенцами (правильность видовой идентификации, по нашему мнению, сомнительна) найдено в 2007 г. в окрестностях д. Верх. Айск Саткинского района [65]. К концу первого десятилетия XXI в. серая неясыть сократилась в численности и стала редка по всему Волжско-Камскому краю, где в большинстве регионов до 1970-х гг. была обычной [66]. Отмечается заселение ею урбанизированных территорий вследствие вытеснения длиннохвостой неясытью *S. uralensis* Pallas, 1771 (там же). Нам ни разу не довелось наблюдать вид в течение четырех сезонов (2017, 2019, 2020 и 2021 гг.) исследований в западных и северо-западных районах области, где находки этого европейского вида наиболее вероятны. Стоит отметить, что поиск данного вида в конце зимы и начале весны, когда вокальная активность птиц наиболее высока, не проводили. Как не проводили и проигрывания записи брачных криков в гнездопригодных биотопах. В других районах за 20 лет исследований (1996–2016 гг.) эту сову мы также ни разу не встречали, хотя наблюдения во многих местах вели в том числе ранней весной, когда у неясытей начинается сезон размножения. Предлагаем перевести вид из категории IV в категорию II (вид с сокращающейся численностью) или I (находящийся под угрозой исчезновения).

Бородатая неясыть *Strix nebulosa* Forster, 1772.

Внесен в Красную книгу Челябинской области (V категория – восстанавливающийся вид). Новые гнездовые находки были зарегистрированы нами в 2018 г. окрестностях с. Хомутино Увельского района (одно гнездо), д. Мансурова Кунашакского района (три гнезда) и в Уйском заказнике (одно гнездо) [25, 21] (рис. 7). Найдены жилые гнезда и слетки в местах прежнего гнездования вида – в окрестностях д. Бол. Иркабаева [25] и в Черноборском заказнике [21].

Обыкновенный зимородок *Alcedo atthis* (Linnaeus, 1758).

Вид внесен в Приложение 3 к Красной книге Челябинской области.

За период исследований нами было пройдено около 50 км речных пойм (из них гнездопригодные для зимородка участки составляли менее 1/10 от их общей протяженности). При этом зимородок был встречен единственный раз: на участке р. Уфа в 3–4 км ниже по течению от с. Шемаха Нязепетровского р-на. Здесь 19–21 июля 2020 г. наблюдали, как птица вылетала из-под края берегового обрыва, где, предположительно, находилось гнездо.

Несмотря на утверждение отдельных авторов, что вид в регионе нередок и встречается практически на всех реках в лесостепи, а также в таежной зоне [67],

сообщения о гнездовых находках единичны [68]. Принимая во внимание малочисленность вида на территории региона [24] и усиление лимитирующего фактора – рекреационной нагрузки на берега рек в местах его гнездования, предлагаем внести его в региональную Красную книгу с категорией III.

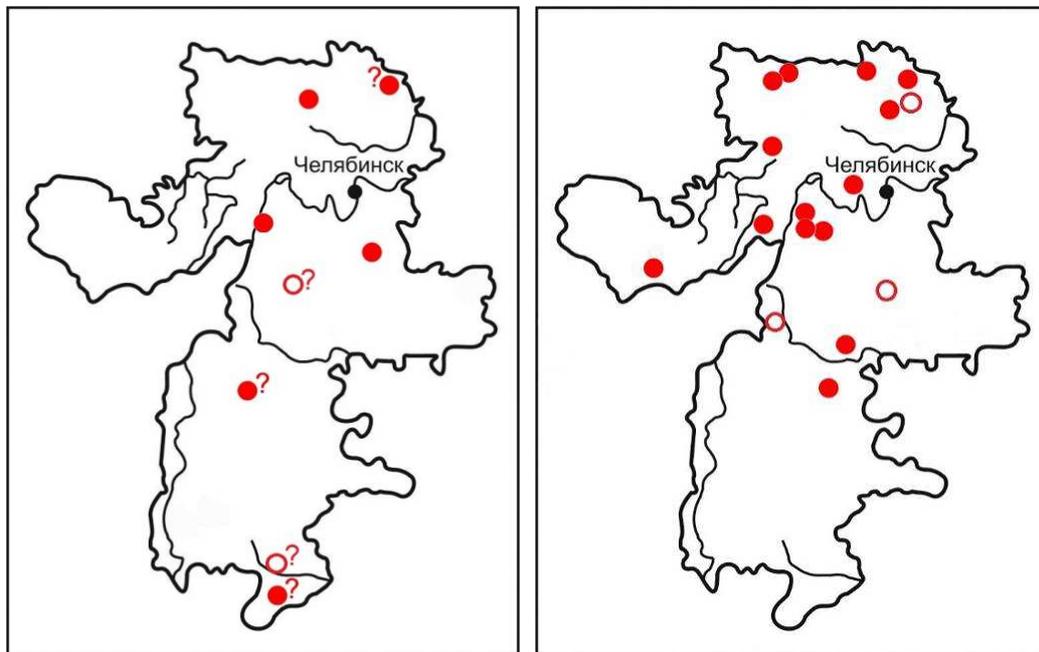


Рис. 7. Находки обыкновенной горлицы *Streptopelia turtur* (слева) и бородастой неясыти *Strix nebulosa* (справа).

Седой дятел *Picus canus* J.F. Gmelin, 1788.

Большинство встреч седого дятла в Челябинской и Свердловской областях регистрируют с осени по весну, во время кочевок [69–73]. Единичные сообщения о наблюдениях в гнездовой период поступали из Кунашакского и Ашинского районов [12, 74], Восточно-Уральского и Южно-Уральского заповедников [51, 50]. Гнездовых находок известно всего две: в 2006 г. жилое дупло обнаружили в окрестностях с. Шемаха Нязепетровского района [48], в 2019 г. в Кыштымском гор. округе на г. Егоза нашли гнездо с 2 птенцами [67].

За период наших исследований в 2017–2021 гг. в лесной зоне области одиночных взрослых птиц наблюдали в гнездовой период в западной части Нязепетровского заказника [13], в юго-западной части Ашинского заказника, на р. Юрюзань недалеко от Салаватской (Идрисовской) пещеры в окрестностях д. Идрисово, на границе Башкирии с Челябинской областью, у северной окраины пос. Александровка Кусинского района. Нераспавшийся выводок из двух молодых вместе со взрослыми птицами в июле 2020 г. наблюдали на участке р. Уфа, поросшего смешанным лесом в окрестностях с. Арасланово Нязепетровского р-на.

На наш взгляд, вид заслуживает внесения в Приложение 3 к региональной Красной книге.

Трёхпалый дятел *Picoides tridactylus* (Linnaeus, 1758).

Вид внесен в Приложение 3 к Красной книге Челябинской области.

В Челябинской и приграничных районах Свердловской области и Башкирии вид редок. Встречи в летний период единичны [50, 63, 24]. На осенне-зимних кочевках встречается чаще: зарегистрирован в Кунашакском [12], Ашинском районах Челябинской области [72], Восточно-Уральском заповеднике [51], Сысертском районе Свердловской области [75], в Челябинском бору (личные сообщения Е. А. Попова и И. Н. Гусевой).

В течение экспедиционных исследований в 2017–2021 гг. в лесной зоне Челябинской области вид встречен лишь однажды. Самку, собирающую корм на ольхах, наблюдали 23 июня 2019 г. в центральной части Серпиевского заказника в пойме р. Куряк, предполагаем гнездование. Считаем целесообразным внесение вида в региональную Красную книгу с категорией III.

Воронок *Delichon urbica* (Linnaeus, 1758).

Вид внесен в Приложение 3 к Красной книге Челябинской области. В первом десятилетии XXI в. на территории Южного Урала гнездилось 15–22.5 тыс. пар [16]. В связи с неуклонным снижением численности, состояние вида в Челябинской области, а также в целом на Урале и в Западной Сибири внушает опасения [75–77, 24, 79]. Депрессивное состояние воронка в обследованных районах лесной зоны области обусловлено, вероятно, несколькими причинами. Среди них – современная архитектура зданий и повсеместное остекление балконов, делающие невозможным гнездование вида; уничтожение колоний при реконструкции зданий; низкая конкурентоспособность за пищу в отношении близкого в экологическом отношении вида – *Apus apus* (Linnaeus, 1758), вытеснение из колоний *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758), ухудшений кормовых условий [80] и некоторые другие.

В 2019 и 2020 гг. обследовали несколько десятков населенных пунктов на западе и северо-западе Челябинской области. В 13 городах и поселках Саткинского, Нязепетровского, Катав-Ивановского, Каслинского, Ашинского и Кусинского районов, Златоустовского и Верхне-Уфалейского городских округов, а также в областном центре обнаружены колонии воронка, в которых в сумме насчитали 311 жилых гнезд. Самая высокая численность вида отмечена в городах Челябинск (91 жилое гнездо), Куса (64), Сатка (31) и Катав-Ивановск (26). В остальных населенных пунктах количество жилых гнезд варьировало от 6 до 19. Из всех учтенных гнезд, включая нежилые и полуразрушенные, 78 % были построены на зданиях сталинского периода, а также на церкви, 20 % – на более современных (70–80-х годов прошлого века) многоквартирных домах, 1.8 % – на плотине, 0.2 % – на одноэтажном индивидуальном доме.

Оляпка *Cinclus cinclus* (Linnaeus, 1758).

В Челябинской области – редкий вид. Внесен в региональную Красную книгу (III категория). Жилые гнезда найдены в 2018 и 2019 гг. на реках Мал. Тесьма, Тюлюк и Евлахта [81, 67] Попытку гнездования наблюдали в 2019 г. в пос. Межевой Саткинского района, покинутое слетками гнездо – на р. Бол. Сатка в окрестностях пос. Магнитский Саткинского района; зимующих особей – на р. Сим в одноименном городе, в г. Куса, на р. Бол. Азиям в Кусинском районе, на каскадной плотине оз. Драга в окрестностях пос. Ленинск Миасского гор. округа, на реках Наяза и Бол. Сатка в нац. парке «Зюраткуль». Весенние и послегнездовые встречи зарегистрированы в Миасском гор. округе и на сливе Киалимского вдхр. [67].

В период наших исследований 9–17 июля 2019 г. оляпка оказалась довольно обычной по р. Тюлюк и его левому притоку – р. Карагайка: на их берегах регулярно наблюдали взрослых особей с выводками (не менее 3) из 1–2 слетков. В южной части Ашинского заказника с 6 по 25 июля 2021 г. на участке р. Аша с притоками протяженностью около 14 км учли не менее 3 пар: зарегистрировали по 1 молодой птице и пару, проявлявшую гнездовое беспокойство. О гнездовании вида на этих реках было известно ранее [3].

Пёстрый дрозд *Zoothera varia* (Pallas, 1811).

Внесен в Красную книгу Челябинской области (V категория). Трех поющих птиц мы зарегистрировали 28 мая 2019 г. в юго-восточной части Нязепетровского заказника при кратком обследовании участков лесосек. А в 2017 г. за 6 дней исследований в этом заказнике – слышали пение двух птиц [13]. Несколько одиночных птиц мы наблюдали в 3-й декаде июля 2020 г. в окрестностях ж/д станции Арасланово Нязепетровского р-на. Есть сообщение о регистрации не менее 5 поющих самцов 19 и 20 мая 2018 г. на восточном берегу Нязепетровского водохранилища [81]. Вероятно, вид гнездится в Серпиевском заказнике: локально поющих самцов мы отметили на двух участках леса в центральной части заказника 21 и 24 июня 2019 г. (рис. 8). Одиночная птица нам встретилась 31 июля того же года возле южной границы Аршинского заказника. Гнездование пестрого дрозда в этом заказнике предполагалось ранее [82]. В граничащем с заказником национальном парке «Таганай» поющих птиц встречают регулярно [28, 68, 73, 81], 29 июля 2019 г. там был найден слеток [67].

Овсянка-ремез *Ocyris rusticus* (Pallas, 1776).

Вид включен в Перечень объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации [84] с категорией 2. В Челябинской и Свердловской областях вид находится на южной границе распространения. В Ильменском заповеднике в 1988 г. отмечена самка, кормившая слетков, в 1995 г. найдено гнездо с кладкой [16]. Массовое гнездование овсянки-ремеза отмечено в 1978–1882 гг. в Ирмельском горном массиве [85]. Беспокоящуюся пару с кормом для птенцов наблюдали в 2007 г. возле хр. Бакты, в 40 км к юго-западу от г. Ирмель [85]. В Нязепетровском р-не и Верхнеуфалейском городском округе в 2006 г. вид найден немногочисленным, в 2003 г. на р. Уфалейка встречали взрослых с плохо

летающими слётками [48]. Ю. К. Гусев в конце XX века в окрестностях Екатеринбурга неоднократно находил гнезда [71]. В последние годы регистрации там стали редки [86]. Беспокоящиеся птицы и гнездо на краю болота в окрестностях Екатеринбурга с полуоперенными птенцами найдены в 2016 и 2017 гг. соответственно [86, 87].

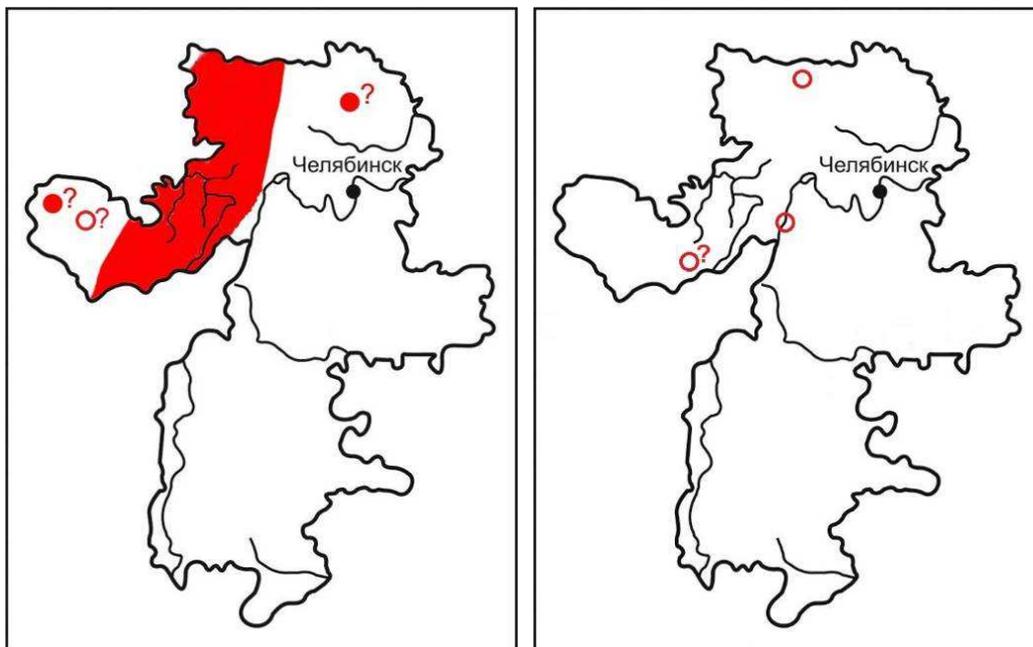


Рис. 8. Находки пёстрого дрозда *Zosterorhiza varia* (слева) и овсянки-ремеза *Ocyris rusticus* (справа).

Несмотря на крайне редкие регистрации вида на территории Челябинской области и неблагоприятное состояние вида во всем российском ареале [88, 89], он не внесен в новое издание региональной Красной книги ввиду недостаточности сведений о численности и распространении на территории региона. Исследования, проведенные нами в 2017, 2019, 2020 и 2021 гг. в лесной зоне области (при этом уточним, что специальный поиск именно этого вида в наши задачи не входил, а потому не проводился), позволяют сделать вывод о депрессивном состоянии овсянки-ремеза в области. За весь период работ ее встретили единственный раз. Сильно беспокоящуюся самку наблюдали 15 июля 2019 г. на заболоченном участке сосново-березового леса у подножия северо-западного склона северной части хр. Бакты (в 6–7 км к северо-востоку от г. Бол. Ирмель) (рис. 8). Вид, несомненно, необходимо включить в Красную книгу области в категории II.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований получены новые данные по численности, распространению, характеру пребывания и угрозах для ряда редких видов птиц Челябинской области, дополняющие Красную книгу Челябинской области [43]. По итогам наших исследований и анализа литературы последних лет можно отметить на территории обследованных районов невысокую, но стабильную (а, возможно, и растущую) гнездовую численность (или численность в биотопах гнездования) таких видов, как чернозобая гагара, обыкновенный осоед, сапсан, бородатая неясыть, оляпка, пестрый дрозд. Состояние воронка в обследованных районах лесной зоны мы оцениваем, как неблагоприятное. Наблюдается дальнейшее продвижение стрепета на север. Крайне низкой оказалась численность большого крохалея и трехпалого дятла, низкой – клинтуха и седого дятла, что может свидетельствовать о неблагоприятии этих видов. Единственная находка овсянки-ремеза в гнездовое время недалеко от мест более ранних регистраций, с одной стороны, говорит о сохранении отдельных гнездящихся пар в заболоченных лесных биотопах горной части Челябинской области на границе с Башкирией, с другой – о крайне низкой численности вида в местах, потенциально пригодных для его гнездования. Отсутствие гнездовых находок обыкновенной горлицы с 1998 г. свидетельствует о депрессивном состоянии вида в регионе. Что касается серой неясыти, находки которой наиболее вероятны именно в обследованных нами в 2017, 2019, 2020 и 2021 гг. западных и северо-западных районах Челябинской области, то факт отсутствия встреч с ней является еще одним подтверждением ее критически низкой численности, а возможно и полного исчезновения с территории региона. Новые залеты змеяда и орла-карлика на территорию области дают основания для внесения этих видов в Приложение 3 к региональной Красной книге.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам ОГУ «ООПТ Челябинской области» С. В. Гагаре, О. Н. Перепёлкину, А. Н. Лаврову, А. Н. Лугинину, Д. А. Яско, Д. В. Ахремову, А. Н. Бурову, С. В. Самарину, И. П. Худякову, В. А. Кузьменко, Н. И. Колтакову, Б. Ю. Саратцеву, В. П. Зарицкому, О. П. Малых, А. В. Заикину за помощь, оказанную в организации экспедиционных исследований и предоставленную по ряду видов птиц информацию. Сотруднику Государственного исторического музея Южного Урала Н. А. Балдину и орнитологам-любителям Е. А. Попову и И. А. Гусевой – за предоставление ценного научного материала. Орнитологу В. Е. Полякову – за совместное участие в полевых исследованиях на нескольких этапах.

Список литературы

1. Емельянова Л. Г. Оценка распространения редких видов птиц в региональных аридных биомах России – основа для их охраны / Л. Г. Емельянова // Аридные экосистемы. – 2019. – Т. 25, № 1 (78). – С. 69–78.
2. Зацаринный И. В. Роль ООПТ Мурманской части зеленого пояса Фенноскандии в сохранении разнообразия редких видов птиц / И. В. Зацаринный, Н. В. Поликарпова, Е. Л. Толмачева,

- А. А. Большаков, У. Ю. Шаврина, В. С. Варюхин // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 4. – С. 129–143.
3. Красная книга Челябинской области. Животные, растения, грибы. – 2017. – М.: «Реарт». – 504 с.
 4. Равкин Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов / Ю. С. Равкин // Природа очагового энцефалита на Алтае. – 1967. – Новосибирск. – С. 66–75.
 5. Коблик Е. А. Список птиц Российской Федерации / Е. А. Коблик, Я. А. Редькин, В. Ю. Архипов. – М, 2006. – 281 с.
 6. Коблик Е. А. Прикладная ареалогия – наше слабое звено / Е. А. Коблик, Е. Г. Лаппо, Я. А. Редькин, П. С. Томкович, М. В. Калякин // Зоологический журнал. – 2011. – Т. 90 (7). – С. 835–845.
 7. Захаров В. Д. К распространению редких видов птиц в Челябинской области / В. Д. Захаров // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2008. – Вып. 13. – С. 49–50.
 8. Захаров В. Д. Некоторые итоги полевых работ в Челябинской области и Башкортостане в 2017 году / В. Д. Захаров, Н. Н. Мигун, О. Н. Перепёлкин // Фауна Урала и Сибири. – 2017. – № 2. – С. 101–103.
 9. Перепёлкин О. Н. К фауне позвоночных Аршинского заказника и сопредельных территорий / О. Н. Перепёлкин // Фауна Урала и Сибири. – 2019. – № 2. – С. 116–118.
 10. Спиридонов С. Н. Техногенные водоемы как резерваты по сохранению биологического разнообразия птиц в лесостепной зоне / С. Н. Спиридонов, В. С. Сарычев, А. Ю. Околелов, Г. Н. Исаков, Е. А. Сухарев // Поволжский экологический журнал. – 2009. – № 4. – С. 319–326.
 11. Спиридонов С. Н. Структура сообществ птиц техногенных водоемов лесостепной зоны Европейской России / С. Н. Спиридонов, В. С. Сарычев, А. Ю. Околелов, Г. Н. Исаков, Е. А. Сухарев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – № 13 (1). – С. 153–160.
 12. Кузьмич А. А. Орнитофауна озера Маян и его окрестностей / А. А. Кузьмич, С. В. Попов, Е. А. Таушканов, А. А. Байнов, М. А. Осипов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2005. – Вып. 10. – С. 161–186.
 13. Гашек В. А. К авифауне Южного Зауралья / В. А. Гашек, Б. В. Красуцкий, А. В. Рябицев // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 1. – С. 155–162.
 14. Примак И. В. К фауне птиц озера Большое Белое / И. В. Примак, Е. С. Баянов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2009. – Вып. 14. – С. 154–156.
 15. Тарасов В. В. Озеро Большой Маньяс: 12 лет спустя / В. В. Тарасов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2012. – Вып. 17. – С. 155–164.
 16. Захаров В. Д. Птицы Южного Урала (видовой состав, распространение, численность) / В. Д. Захаров. – Екатеринбург; Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006а. – 228 с.
 17. Ушков С. Л. Звери и птицы Ильменского заповедника / С. Л. Ушков. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. – 268 с.
 18. Захаров В. Д. Изменения орнитофауны Ильменского заповедника за 90 лет / В. Д. Захаров // Наука, природа и общество. Материалы всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию Ильменского государственного заповедника, 100-летию со дня рождения академика П. Л. Горчаковского и 70-летию со дня рождения минералога В. О. Полякова. – 2020. – С. 71–74.
 19. Лоскутова И. А. Птицы / И. А. Лоскутова // Позвоночные животные заповедника «Шульган-Таш». Флора и фауна заповедников. – 1998. – Т. 67. – С. 12–32.
 20. Тарасов В. В. Состояние фауны гусеобразных юга Западной Сибири на рубеже 20 и 21 веков / В. В. Тарасов // Казарка: бюллетень рабочей группы по гусеобразным Северной Евразии. – 2009. – С. 121–143.
 21. Гашек В. А. Итоги орнитологических исследований в степных и лесостепных районах Челябинской области в 2018 году / В. А. Гашек, Б. В. Красуцкий, А. В. Рябицев // Фауна Урала и Сибири. – 2019 – № 1. – С. 128–141.
 22. Захаров В. Д. Некоторые результаты полевых работ в Челябинской области и Башкортостане в 2016 году / В. Д. Захаров // Фауна Урала и Сибири. – 2016. – № 2. – С. 83–85.
 23. Перепёлкин О. Н. Обыкновенный осоед *Pernis apivprus* и сапсан *Falco peregrinus* в Аршинском заказнике и на сопредельных территориях / О. Н. Перепёлкин // Актуальные вопросы

- современного естествознания Южного Урала: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Челябинск: изд-во Челяб. гос. ун-та. – 2016а. – С. 147–152.
24. Тарасов В. В. Птицы Челябинской области, нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде / Тарасов В. В., В. Д. Захаров, В. А. Гашек // Актуальные вопросы современного естествознания Южного Урала: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та. – 2016. – С. 104–119.
 25. Тарасов В. В. К фауне птиц лесостепной зоны Челябинской области / В. В. Тарасов, В. А. Гашек, А. В. Рябицев, С. В. Грачёв // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 2. – С. 106–112.
 26. Гашек В. А. Новые данные к орнитофауне юга Челябинской области / В. А. Гашек // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2002. – Вып. 7. – С. 90–92.
 27. Кузьмич А. А. Дополнения к фауне птиц севера Челябинской области / А. А. Кузьмич, Е. А. Таушканов, А. А. Байнов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2003. – Вып. 8. – С. 135–136.
 28. Попов С. В. Видовой состав и распространение хищных птиц Falconiformes и сов Strigiformes на границе тайги и лесостепи Зауралья / С. В. Попов // Русский орнитологический журнал. – 2014. – Т. 23 (971). – С. 531–554.
 29. Захаров В. Д. Сведения о встречах некоторых редких птиц в 2014 г. / В. Д. Захаров, П. Е. Брусянин // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2014. – Вып. 19. – С. 47–49.
 30. Белик В. П. Распространение и численность хищных птиц Заволжья и Южного Предуралья / В. П. Белик // Беркут. – 1998. – Т. 7 (1–2). – С. 32–45.
 31. Тарасов В. В. Материалы по фауне птиц юго-западной части Курганской области / В. В. Тарасов, А. А. Байнов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2009. – Вып. 14. – С. 198–224.
 32. Glushenkov O. V. The extending of ranges of some bird species at the north-eastern border of their distribution due to intra-century climate changes / O. V. Glushenkov // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2017. – № 2 (3). – С. 23–39.
 33. Чухарева И. П. Пространственная структура моновидовой колонии серых цапель (Ardeidae, Aves) в западном предгорье Среднего Урала / И. П. Чухарева, Н. Е. Артемьев, Н. В. Вобищевич, Р. П. Грачёв // Поволжский экологический журнал. – 2015. – № 2. С. 228–238.
 34. Захаров В. Д. Некоторые итоги полевого сезона 2013 года в Челябинской области / В. Д. Захаров, П. Е. Брусянин // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2013. – Вып. 18. – С. 43–46.
 35. Гашек В. А. Фауна птиц урочища Леоновские горы (Челябинская область) – перспективной ООПТ регионального значения / В. А. Гашек, Д. А. Яско // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (4). – С. 36–47.
 36. Мурадов О. В. Гнездование сапсана в городе Аша Челябинской области / О. В. Мурадов, А. Ф. Маматов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2011. – Вып. 16. – С. 85–88.
 37. Хлопотова А. В. Изучение экологии сапсана (*Falco peregrinus* Tunstall, 1771) в природном парке «Река Чусовая» / А. В. Хлопотова // Экология. – 2013. – 4. – С. 318.
 38. Хлопотова А. В. Сапсан в среднем течении реки Чусовой / А. В. Хлопотова, М. Ю. Шершнева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16 (5–1). – С. 506–509.
 39. Головатин М. Г. О гнездовании сапсана на реке Уфа (Свердловская область) / М. Г. Головатин, Е. Г. Шмыров // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 1. – С. 184–186.
 40. Шепель А. И. Сапсан *Falco peregrinus* Tunstall, 1771 в Волжско-Камском крае / А. И. Шепель // Вестник Пермского университета. – 2015. – № 3. – С. 219–228.
 41. Вазов С. В. О статусе некоторых видов птиц в Красной книге Алтайского края / С. В. Вазов, Р. Ф. Бахтин, В. М. Вазов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4–2. – С. 504–506.
 42. Гашек В. А. Орнитофауна Троицкого заказника (Челябинская область) / В. А. Гашек, В. Д. Захаров // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 1. – С. 163–183.
 43. Захаров В. Д. Некоторые результаты полевых работ в Челябинской области в 2019 году / В. Д. Захаров, П. Е. Брусянин // Фауна Урала и Сибири. – 2019. – № 2. – С. 144–146.

44. Тарасов В. В. Птицы Октябрьского района Челябинской области / В. В. Тарасов, С. В. Грачёв // Фауна Урала и Сибири. – 2016. – № 2. – С. 191–204.
45. Захаров В. Д. Стрепет *Tetrax tetrax* в Челябинской области / В. Д. Захаров, Н. Н. Мигун, А. Н. Мигун // Русский орнитологический журнал. – 2017. – Т. 26 (1452). – С. 2233–2235.
46. Захаров В. Д. Некоторые итоги полевых работ в Челябинской области в 2018 году / В. Д. Захаров, Н. Н. Мигун, П. Е. Брусянин // Фауна Урала и Сибири. – 2018. – № 2. – С. 84–86.
47. Захаров В. Д. Современные границы распространения некоторых видов птиц на Южном Урале / В. Д. Захаров // Изв. Челябинск. науч. Центра. – 2006в. – Т. 1 (31). – С. 119–123.
48. Рябицев В. К. К фауне птиц северо-запада Челябинской области / В. К. Рябицев, А. Г. Ляхов, Л. В. Коршиков // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2006. – Вып. 11. – С. 176–184.
49. Захаров В. Д. Дополнения к встречам редких видов птиц в Челябинской области / В. Д. Захаров // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2006б. – Вып. 11. – С. 121–122.
50. Алексеев В. Н. Птицы Южно-Уральского заповедника / В. Н. Алексеев // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2006. – Вып. 11. – С. 5–18.
51. Тарасов О. В. Обзор орнитофауны Восточно-Уральского заповедника и сопредельных территорий / О. В. Тарасов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2004. – Вып. 9. – С. 166–177.
52. Белик В. П. О катастрофическом снижении численности восточноевропейской популяции клинтуха / В. П. Белик // Редкие, исчезающие и малоизученные птицы России. – 2000. – С. 85–90.
53. Иванчев В. П. К экологии клинтуха *Columba oenas*: оценка состояния в Окском заповеднике / В. П. Иванчев // Современное состояние природных комплексов и объектов Окского заповедника и некоторых районов европейской части России. – 2000. – Рязань. – С. 71–88.
54. Багаутдинова З. Т. Птицы Башкирского заповедника / З. Т. Багаутдинова // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2003. – Вып. 8. – С. 8–26.
55. Коровин В. А. Птицы бассейна реки Большой Черной (Средний Урал) / В. А. Коровин, Т. А. Сулова // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. Вып. – 2005. – Вып. 10. – С. 140–154.
56. Рябицев В. К. К фауне птиц северо-востока Челябинской области / В. К. Рябицев // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2008. – Вып. 13. – С. 90–98.
57. Бобенко О. А. Клинтух – новый гнездящийся вид Ставропольского края / О. А. Бобенко, М. П. Ильях, А. С. Плеснявых, А. И. Друп, В. Д. Друп, А. Н. Хохлов // Птицы Кавказа: Изучение, охрана и рациональное использование. – 2007. – Ставрополь: Изд-во Ставроп. ун-та. – С. 6–16.
58. Белик В. П. Ренессанс клинтуха в Восточной Европе: демографический потенциал новой адаптации / В. П. Белик, В. В. Ветров, Ю. В. Милобог // Стрепет. – 2010. – Т. 8 (1). – С. 70–74.
59. Белик В. П. Особенности формирования современной гнездовой авифауны в предгорьях Северного Кавказа на модели Кубано-Лабинского междуречья / В. П. Белик // Зоологический журнал. – 2017. – Т. 96 (8). – С. 943–959.
60. Нумеров А. Д. Кадастр птиц (*Aves*) Воронежской области: двадцать лет спустя / А. Д. Нумеров, П. Д. Венгеров // Вестник Тамбовского университета. – 2016. – Т. 21 (5). – С. 1830–1835.
61. Недосекин В. Ю. Адаптация клинтуха *Columba oenas* к гнездованию на опорах ЛЭП в Липецкой области / В. Ю. Недосекин // Русский орнитологический журнал. – 2020. – Т. 29 (1982). – С. 4694–4700.
62. Фридман В. С. Возвратная урбанизация – последний шанс на спасение уязвимых видов Европы? / В. С. Фридман, Г. С. Ерёмкин, Н. Ю. Захарова // Russian journal of ecosystem ecology. – 2016. – Т. 1 (4). – С. 32–89.
63. Попов С. В. К авифауне лесостепного Зауралья / С. В. Попов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2004. – Вып. 9. – С. 120–123.
64. Попов С. В. Дополнения к авифауне лесостепного Зауралья / С. В. Попов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2006. – Вып. 11. – С. 174–175.
65. Итоги ведения Красной книги Челябинской области за 2006–2011 гг. – 2011. – Челябинск–Миасс: ИГЗ УрО РАН. – 54 с.
66. Шепель А. И. Серая неясыть (*Strix aluco* (Linnaeus, 1758)) в Волжско-Камском крае / А. И. Шепель // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. – 2014. – Науки о земле. – № 3. – С. 83–90.

67. Попов Е. А. Встречи редких птиц в Челябинской области в 2019 году / Е. А. Попов, М. Е. Рассомахина // Фауна Урала и Сибири. – 2019б. – № 2. – С. 178–183.
68. Попов Е. А. Встречи редких птиц в Челябинской области в 2016 году / Е. А. Попов, М. Е. Рассомахина // Фауна Урала и Сибири. – 2016. – № 2. – С. 167–173.
69. Ерёмченко И. Н. Зимняя орнитофауна Челябинска / И. Н. Ерёмченко, В. Е. Поляков // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2003. – Вып. 8. – С. 88–92.
70. Попов С. В. Дополнения к авифауне лесостепного Зауралья / С. В. Попов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2008. – Вып. 13. – С. 88–89.
71. Коровин В. А. Птицы северных окраин и окрестностей Екатеринбурга (по дневникам наблюдений Ю. К. Гусева) / В. А. Коровин // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2009. – Вып. 14. – С. 66–86.
72. Мурадов О. В. Сравнительная характеристика авифауны осенне-зимнего периода 2008–2009 гг. рек Сим и Миньяр / О. В. Мурадов, А. Ф. Маматов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – Т. 6 (100). – С. 261–263.
73. Попов Е. А. Встречи редких птиц в Челябинской области в 2017 году / Е. А. Попов, М. Е. Рассомахина // Фауна Урала и Сибири. – 2017. – № 2. – С. 173–177.
74. Мурадов О. В. Орнитофауна поймы реки Сим / О. В. Мурадов, А. Ф. Маматов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2008. – Вып. 13. – С. 70–75.
75. Коршиков Л. В. Краткие заметки к орнитофауне города Сысерть (Свердловская область) / Л. В. Коршиков, В. А. Токарев // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2007. – Вып. 12. – С. 121–124.
76. Загорская В. В. Сокращение обилия доминирующих видов птиц г. Уфы как индикатор экологического состояния городской среды / В. В. Загорская // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19 (5). – С. 1289–1291.
77. Ляхов А. Г. Редкие воробьиные птицы окрестностей Екатеринбурга. Часть 1. / А. Г. Ляхов // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2014. – Вып. 19. – С. 78–96.
78. Сугрובה Н. Ю. Некоторые особенности гнездовой биологии ласточковых птиц на севере ареала (Камское Предуралье) / Н. Ю. Сугрובה // Nauka-rastudent.ru. – 2015. – № 12 (24) / [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://nauka-rastudent.ru/24/3067/>
79. Полежанкина П. Г. Встречи воронка в Республике Башкортостан в 2018–2019 годах / П. Г. Полежанкина // Фауна Урала и Сибири. – 2019. – № 2. – С. 175–177.
80. Колоярцев М. В. *Ласточки*. / М. В. Колоярцев. – Л.: изд-во Ленинград. ун-та, 1989. – 248 с.
81. Попов Е. А. Новые встречи редких птиц в Челябинской области / Е. А. Попов, М. Е. Рассомахина // Фауна Урала и Сибири. – 2019а. – № 1. – С. 145–150.
82. Перепёлкин О. Н. Редкие птицы Аршинского заказника и его окрестностей (Челябинская область) / О. Н. Перепёлкин // Фауна Урала и Сибири. – 2016б. – № 2. – С. 154–155.
83. Попов С. В. Видовой состав и распространение хищных птиц Falconiformes и сов Strigiformes на границе тайги и лесостепи Зауралья / С. В. Попов // Русский орнитологический журнал. – 2014. – 971. – С. 531–554.
84. Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации. / [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564578614>
85. Валуев В. А. Дополнение к редким видам птиц Башкортостана / В. А. Валуев, П. Г. Полежанкина, В. Н. Алексеев // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. – 2007. – Вып. 12. – С. 33–35.
86. Ляхов А. Г. Редкие воробьиные птицы окрестностей Екатеринбурга. Часть 2 / А. Г. Ляхов, В. А. Коровин // Фауна Урала и Сибири. – 2017. – № 2. – С. 117–138.
87. Поляков В. Е. Наблюдения редких и находящихся у границ гнездовых ареалов птиц в окрестностях Екатеринбурга / В. Е. Поляков, А. Е. Гурин, А. В. Сесин, И. Н. Ерёмченко // Фауна Урала и Сибири. – 2017. – № 1. – С. 210–218.
88. Яковлева М. В. Тенденции численности дендрофильных видов птиц в заповеднике «Кивач» в условиях потепления климата / М. В. Яковлева // Сборник трудов конференции Динамика численности птиц в наземных ландшафтах. – 2017. – Звенигород, 17–21 марта 2017 года. – С. 47–54.

89. Дурнев Ю. А. Критическое снижение численности овсянки-ремеза: современная ситуация в области Байкальского рифта / Ю. А. Дурнев, Н. В. Морошенко // Орнитологические исследования в странах Северной Евразии. – 2020. – С. 171–172.

NEW MATERIALS ON THE FAUNA AND DISTRIBUTION OF RARE BIRDS OF THE CHELYABINSK REGION

Gashek V. A.¹, Krasutsky B. V.²

¹*Chelyabinsk international airport, Chelyabinsk, 454133, Russia*

²*Chelyabinsk state University, Chelyabinsk, 454001, Russia*

E-mail: gashek_va@mail.ru

The main purpose of the research was to study the fauna and structure of the bird population in the regional protected areas of the Chelyabinsk region, as well as a number of objects that do not have a conservation status. The search for rare and scarce species, to which this work is devoted, was carried out on non-fixed transects and in the process of excursion surveys during daylight hours as part of the main tasks of identifying the fauna and structure of the bird population. The incidental nature of the identification of rare species in the surveyed objects explains the selectivity in the approach to writing essays in this research on certain species.

The purpose of this research is to update information on the number, distribution, status and limiting factors of a number of bird species included in the Red Data Book of the Chelyabinsk Region (2017) and requiring inclusion in its new edition. The studies were carried out in 2017–2021 in all natural zones of the Chelyabinsk region. In total, 19 regional specially protected natural areas were examined, as well as a number of objects that do not have an environmental status.

New data on the number, distribution, status and threats of 24 bird species from 11 orders have been obtained, which significantly supplements the information contained in the regional Red Data Book. New nesting sites of *Mergus merganser*, *Falco peregrinus*, *Strix nebulosa*, *Accipiter gentilis*, probable nesting sites of *Gavia arctica*, *Pernis apivorus*, *Glareola nordmanni* and *Alcedo atthis* were found. The facts of reproduction of *Haematopus ostralegus* in the places of previous meetings have been confirmed.

New vagrants of *Pelecanus onocrotalus*, *Buteo rufinus*, *Circaetus gallicus* and *Hieraetus pennatus* have been recorded. Data were obtained indicating a further northward expansion of the *Tetrax tetrax* range. *Columba oenas*, *Picus canus* and *Picoides tridactylus* are in poor condition. *Cinclus cinclus* and *Zoothera varia* are in satisfactory condition and the abundance of *Ocyris rusticus* is extremely low. It is advisable to give the status of a protected area at a level not lower than the integrated regional reserve to the Leonovskie Gory tract to preserve the nesting of *Falco peregrinus*, *Aquila heliaca*, as well as a number of other rare bird species. To prevent the death of many vulnerable species, including *Buteo rufinus*, it is necessary to equip power lines with bird protection devices. The data obtained on *Columba oenas* allow us to hope that the process of recurrent urbanization, which has been observed in this species in recent decades in Ukraine and

southern Russia, will allow it in the future to master the urbanized landscape as nesting stations in the Southern Trans-Urals and, thus, over time, to restore its numbers.

Keywords: birds, number, range, nesting, Red Data Book.

References

1. Emelyanova L. G. Assessment of the distribution of rare bird species in regional arid biomes of Russia – the basis for their protection, *Arid ecosystems*, **25**, 1(78), 69 (2019)
2. Zatsarinny I. V., Polikarpova N. V., Tolmacheva E. L., Bolshakov A. A., Shavrina U. Yu., Varyukhin V. S. The role of protected areas in the Murmansk part of the green belt of Fennoscandia in the conservation of the diversity of rare bird species, *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **4**, 129 (2019).
3. Red Data Book of the Chelyabinsk Region. Animals, plants, mushrooms, 504 p. (Limited Liability Company "Reart", Moscow, 2017).
4. Ravkin Yu. S. To the method of accounting for birds in forest landscapes, *The nature of focal encephalitis in Altai*, 66. (1967).
5. Koblik E. A., Redkin Ya. A., Arkhipov V. Yu. *List of birds of the Russian Federation*, 281 p. (Moscow, 2006).
6. Koblik E. A., Lappo E. G., Redkin Ya. A., Tomkovich P. S., Kalyakin M. V. Applied Arealogy – Our Weak Link, *Zoological Journal*, **90**, 7, 835 (2011)
7. Zakharov V. D. Towards the spread of rare bird species in the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **13**, 49 (2008).
8. Zakharov V. D., Migun N. N., Perepelkin O. N. Some results of field work in the Chelyabinsk region and Bashkortostan in 2017, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 101 (2017).
9. Perepelkin O. N. On the vertebrate fauna of the Arshinsky reserve and adjacent territories, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 116 (2019).
10. Spiridonov S. N., Sarychev V. S., Okolelov A. Yu., Isakov G. N., Sukharev E. A. Technogenic reservoirs as reserves for the conservation of biological diversity of birds in the forest-steppe zone, *Povolzhskiy ecological journal*, **4**, 319 (2009).
11. Spiridonov S. N., Sarychev V. S., Okolelov A. Yu., Isakov G. N., Sukharev E. A. The structure of bird communities in technogenic water bodies in the forest-steppe zone of European Russia, *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **13** (1), 153 (2011).
12. Kuzmich A. A., Popov S. V., Taushkanov E. A., Baynov A. A., Osipov M. A. Avifauna of lake Mayan and its surroundings, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **10**, 161 (2005).
13. Gashek V. A., Krasutsky B. V., Ryabitsev A. V. To the avifauna of the Southern Trans-Urals, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 155 (2018).
14. Primak I. V., Bayanov E. S. To the bird fauna of Lake Bolshoe Beloe, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **14**, 154 (2009).
15. Tarasov V. V. Lake Big Manyass: 12 years later, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **17**, 155 (2012).
16. Zakharov V. D. *Birds of the Southern Urals (species composition, distribution, number)*, 228 p. (Ekaterinburg, Miass, 2006).
17. Ushkov S. L. *Animals and birds of the Ilmen reserve*, 268 p. (Yekaterinburg, 1993).
18. Zaharov V. D. Changes in the avifauna of the Ilmensky reserve over 90 years // Science, nature and society, *Materials of the All-Russian Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the Ilmensky State Reserve, the 100th anniversary of the birth of Academician P.L. Gorchakovskiy and the 70th birthday of the mineralogist V.O. Polyakova* (Miass, 2020), p. 71.
19. Loskutova I. A. Birds, *Vertebrates of the reserve «Shulgan-Tash». Flora and fauna of nature reserves*, **67**, 12 (1998)
20. Tarasov V. V. State of the geese fauna in the South of Western Siberia at the turn of the 20th and 21st centuries, *Kazarka: Bulletin of the working group on geese of Northern Eurasia*, 121 (2009)

21. Gashek V. A., Krasutsky B. V., Ryabitsev A. V. The results of ornithological research in the steppe and forest-steppe regions of the Chelyabinsk region in 2018, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 128 (2019).
22. Zakharov V. D. Some results of field work in the Chelyabinsk region and Bashkortostan in 2016, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 83 (2016).
23. Perepelkin O. N. Common wasp *Pernis apivorus* and Peregrine Falcon *Falco Peregrinus* in the Arshinsky reserve and adjacent territories, Topical issues of modern natural science of the southern Urals, *Materials II vseros. scientific-practical Conf. Chelyabinsk* (Chelyabinsk state publishing house. Un-ta, 2016a), p. 147.
24. Tarasov V. V., Zakharov V. D., Gashek V. A. Birds of the Chelyabinsk region in need of special attention to their condition in the natural environment *Current issues of modern natural science of the southern Urals*, Materials of the II all-Russian scientific-practical conference with internat. Participation (Chelyabinsk, Chelyabinsk state publishing House Un-ta, 2016), p. 104.
25. Tarasov V. V., Gashek V. A., Ryabitsev A. V., Grachev S. V. To the bird fauna of the forest-steppe zone of the Chelyabinsk region, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 106 (2018).
26. Gashek V. A. New data on the avifauna of the South of the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **7**, 90 (2002).
27. Kuzmich A. A., Taushkanov E. A., Buinov A. A. Additions to the bird fauna of the North of the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **8**, 135 (2003).
28. Popov S. V. Species composition and distribution of birds of prey Falconiformes and strigiformes owls on the border of the taiga and forest-steppe of the Trans-Urals, *Rus. ornithol. Journal [Rus. Ornitol. Jurnal]* **23** (971), 531 (2014).
29. Zakharov V. D., Brusyanin P. E. Data on the occurrence of some rare birds in 2014, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **19**, 47 (2014).
30. Belik V. P. Distribution and abundance of predatory birds of the Volga region and the southern Urals, *Berkut [Berkut]*, **7**(1–2), 325 (1998).
31. Tarasov V. V., Baynov A. A. Materials on the bird fauna of the South-Western part of the Kurgan region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **14**, 198 (2009).
32. Glushenkov O. V. The extending of ranges of some bird species at the north-eastern border of their distribution due to intra-century climate changes, *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, **2** (3), 23 (2017).
33. Chukhareva I. P., Artemyev N. E., Vobishchevich N. V., Grachev R. P. Spatial structure of a monoid colony of Grey Herons (Ardeidae, Aves) in the Western foothills of the Middle Urals, *Povolzhskiy journal of ecology*, **2**, 228 (2015).
34. Zakharov V. D., Brusyanin P. E. Some results of the 2013 field season in the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **18**, 43 (2013).
35. Gashek V. A., Yasko D. A. Bird fauna of the Leonovskie Gory tract (Chelyabinsk region) – a promising protected area of regional significance, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **6** (4), 36 (2020).
36. Muradov O. V., Mamatov A. F. Peregrine Falcon nesting in the city of Asha, Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **16**, 85 (2011).
37. Khlopotova A. V. Study of the ecology of the Peregrine Falcon (*Falco peregrinus* Tunstall, 1771) in the natural park "Chusovaya River", *Ecology*, **4**, 318 (2013).
38. Khlopotova A. V., Shershnev M. Yu. Peregrine Falcon in the middle reaches of the Chusovaya River, *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **16** (5–1), 506 (2014).
39. Golovatin M. G., Shmyrov E. G. On nesting of Peregrine Falcon on the Ufa River (Sverdlovsk region), *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 184 (2018).
40. Shepel A. I. Peregrine Falcon *Falco peregrinus* Tunstall, 1771 in the Volga-Kama region, *Bulletin of Perm University*, **3**, 219. (2015).
41. Vazhov S. V., Bakhtin R. F., Vazhov V. M. On the status of some bird species in the Red Data Book of Altai Territory, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **4–2**, 504 (2016).
42. Gashek V. A., Zakharov V. D. Ornithofauna of the Trinity reserve (Chelyabinsk region), *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 163 (2018).

43. Zakharov V. D., Brusyanin P. E. Some results of field work in the Chelyabinsk region in 2019, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 144 (2019).
44. Tarasov V. V., Grachev S. V. Birds of the Oktyabrsky district of the Chelyabinsk region, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 191 (2016).
45. Zakharov V. D., Migun N. N., Migun A. N. The little bustard *Tetrax tetrax* in the Chelyabinsk region, *Rus. Ornithol. Journal*, **26** (1452), 2233 (2017).
46. Zakharov V. D., Migun N. N., Brusyanin P. E. Some results of field work in the Chelyabinsk region in 2018, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 84 (2018).
47. Zakharov V. D. Modern borders of distribution of some bird species in the southern Urals, *Izv. Chelyabinsk. scientific center*, **1**(31), 119 (2006v).
48. Ryabitsev V. K., Lyakhov A. G., Korshikov L. V. To the bird fauna of the North-West of the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **11**, 176 (2006).
49. Zaharov V. D. Additions to the encounters of rare bird species in the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **11**, 121 (2006b).
50. Alekseyev V. N. Birds of the South Ural reserve, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **11**, 5 (2006).
51. Tarasov O. V. Review of the avifauna of the East Ural reserve and adjacent territories, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **9**, 166 (2004).
52. Belik V. P. On the catastrophic decline in the Eastern European population of Stock Pigeon, *Rare, endangered and little-studied birds of Russia*, 85 (2000).
53. Ivanchev V. P. On the ecology of Stock Pigeon *Columba oenas*: assessment of the state in the Oka nature reserve, *The current state of natural complexes and objects of the Oka nature reserve and some areas of the European part of Russia*, 71 (2000).
54. Bagautdinova Z. T. Birds of the Bashkir reserve, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **8**, 8 (2003).
55. Korovin V. A., Suslova T. A. Birds of the Bolshaya Chernaya river basin (Middle Urals), *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **10**, 140. (2005).
56. Ryabitsev V. K. To the bird fauna of the North-East of the Chelyabinsk region, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **13**, 90 (2008).
57. Bobenko O. A., Ilyukh M. P., Plesnyavykh A. S., Drup A. I., Drup V. D., Khokhlov A. N. Stock Pigeon – a new nesting species of the Stavropol Territory, *Birds of the Caucasus: Study, protection and rational use*. (Stavropol, Publishing house Stavrop. un-that, 2007), p. 6.
58. Belik V. P., Vetrov V. V., Milobog Yu. V. Renaissance of Stock Pigeon in Eastern Europe: demographic potential of new adaptation, *Strepet*, **8** (1), 70 (2010).
59. Belik V. P. Features of the formation of modern nesting avifauna in the foothills of the North Caucasus on the model of the Kuban-Labinsk interfluves, *Zool. zhurn.* **96** (8), 943 (2017).
60. Numerov A. D., Vengerov P. D. Bird cadastre (Aves) of the Voronezh region: twenty years later, *Bulletin of the Tambov University*, **21** (5), 1830 (2016).
61. Nedosekin V. Yu. Adaptation of Stock Pigeon *Columba oenas* to nesting on power transmission poles in the Lipetsk region, *Russian Ornithological Journal*, **29** (1982), 4694 (2020).
62. Fridman V. S., Eremkin G. S., Zakharova N. Yu. Reversible urbanization – the last chance to save Europe's vulnerable species?, *Russian journal of ecosystem ecology*, **1** (4), 32 (2016).
63. Popov S. V. Avifauna of the forest-steppe Trans-Urals, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **9**, 120 (2004).
64. Popov S. V. Additions to the avifauna of the forest-steppe Trans-Urals, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **11**, 174 (2006).
65. *Results of maintaining the Red Data Book of the Chelyabinsk region for 2006–2011*. Chelyabinsk-Miass, IGZ Uro RAS, 54 p. (2011).
66. Shepel A. I. Tawny Owl (*Strix aluco* (Linnaeus, 1758)) in the Volga-Kama Territory, *Bulletin of the Udmurt University. Biology series. Geosciences*, **3**, 83 (2014).
67. Popov E. A., Rassomakhina M. E. Meetings of rare birds in the Chelyabinsk region in 2019, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 178 (2019b).

68. Popov E. A., Rassomakhina M.E. Meetings of rare birds in the Chelyabinsk region in 2016, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 167 (2016).
69. Eryomenko I. N., Polyakov V. E. Winter avifauna of Chelyabinsk, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **8**, 88 (2003).
70. Popov S. V. Additions to the avifauna of the forest-steppe Trans-Urals, *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **13**, 88 (2008).
71. Korovin V. A. Birds of the Northern suburbs and surrounding areas of Yekaterinburg (the diaries of observations Y. K. Gusev), *Materials to distribution of birds in Ural, in the Urals and Western Siberia*, **14**, 66 (2009).
72. Muradov O. V., Mamatov A. F. Comparative characteristics of avifauna of the autumn-winter period of 2008–2009 of the Sim and Minyar rivers, *Bulletin of Orenburg state University*, **6** (100), 261 (2009).
73. Popov E. A., Rassomakhina M. E. Meetings of rare birds in the Chelyabinsk region in 2017, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 173 (2017).
74. Muradov O. V., Mamatov A. F. Avifauna of the Sim river floodplain, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **3**, 70 (2008).
75. Korshikov L. V., Tokarev V. A. Brief notes on the avifauna of the city of Sysert (Sverdlovsk region), *Materials for the distribution of birds in the Urals, in the Urals and Western Siberia*, **12**, 121 (2007).
76. Zagorskaya V. V. Reducing the abundance of dominant bird species in Ufa as an indicator of the ecological state of the urban environment, *Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences*, **19** (5), 12891 (2014).
77. Lyakhov A. G. Rare passerine birds of the vicinity of Yekaterinburg. Part 1, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **19**, 78 (2014).
78. Sugrobova N. Yu. Some features of the nesting biology of swallow birds in the north of the range (Kama Cis-Urals), *Nauka-rastudent.ru* **12** (24), [Electronic resource] Access mode. URL: <http://nauka-rastudent.ru/24/3067/> (2015).
79. Polezhankina P. G. Meetings of Northern House-martin in the Republic of Bashkortostan in 2018–2019, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 175 (2019).
80. Koloyartsev M. V. *Swallows*, 248 p. (L.: publishing house Leningrad. University, 1989).
81. Popov E. A., Rassomakhina M. E. New meetings of rare birds in the Chelyabinsk region, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 145 (2019a).
82. Perepelkin O. N. Rare birds of the Arshinsky reserve and its surroundings (Chelyabinsk region), *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 154 (2016b).
83. Popov S. V. Species composition and distribution of birds of prey Falconiformes and strigiformes owls on the border of the taiga and forest-steppe of the Trans-Urals // *Rus. ornithol. Journal* [Rus. Ornitol. Jurnal], **23** (971), 531 (2014).
84. On the approval of the List of objects of the animal world included in the Red Data Book of the Russian Federation, [Electronic resource]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/564578614>.
85. Valuev V. A., Polezhankina P. G., Alekseev V. N. Addition to rare species of birds of the Republic of Bashkortostan, *Materials for the distribution of birds in the Urals, the Urals and Western Siberia*, **12**, 33. (2007).
86. Lyakhov A. G., Korovin V. A. Rare passerine birds of the vicinity of Yekaterinburg. Part 2, *Fauna of the Urals and Siberia*, **2**, 117 (2017).
87. Polyakov V. E., Gurin A. E., Sesin A. V., Eremenko I. N. Observations of rare and located near the borders of nesting areas of birds in the vicinity of Yekaterinburg, *Fauna of the Urals and Siberia*, **1**, 210 (2017).
88. Yakovleva M. V. Trends in the number of dendrophilous bird species in the Kivach nature reserve under climate warming conditions, *Proceedings of the conference Dynamics of the number of birds in terrestrial landscapes* (Zvenigorod, 17–21 March, 2017), p. 47.
89. Durnev Y. A., Moroshenko N. V. Critical decline in the abundance of Rustic Bunting: the current situation in the Baikal Rift, *Ornithological research in the countries of Northern Eurasia* (Minsk, 2020), p. 171.

УДК 612.06

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-30-42

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
И ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АДАПТАЦИОННОГО
ПОТЕНЦИАЛА ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В
УЧРЕЖДЕНИЯХ СОЦИАЛЬНОГО ТИПА**

Горбанева М. В.^{1,2}, Колмакова Т. С.², Байер Е. А.³, Григорян Н. А.²

¹*Азовский центр помощи детям, Ростов-на-Дону, Россия*

²*Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия*

³*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия*

E-mail: gor-margo@yandex.ru

Представлены результаты исследования общей структуры заболеваемости, типологических свойств нервной системы, составляющих адаптационного потенциала личности, базовых убеждений и черт характера детей и подростков, пребывающих в учреждениях социального типа. Установлены корреляционные взаимосвязи исследуемых показателей. Сделан вывод о том, что негативные убеждения и особенности нервной системы могут быть предпосылками снижения адаптационных возможностей детей и подростков и вести к формированию у них хронических заболеваний.

Ключевые слова: здоровье, стресс, адаптационный потенциал, убеждения, черты характера, дети-сироты, корреляционные взаимосвязи.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной реальности подрастающее поколение сталкивается с множеством стрессогенных факторов, что вызывает значительное напряжение и истощение адаптационных резервов. В группе повышенного риска истощения адаптационных ресурсов, нарушения соматического и психического здоровья находятся дети и подростки, оказавшиеся в трудной жизненной ситуации или оставшиеся без попечения родителей. Согласно данным Байер Е. А., в последние годы уровень социально-психологической адаптированности и готовности к самостоятельной жизни данной категории детей ниже среднего и низкий у 68 % детей-сирот [1].

Неблагоприятная динамика показателей состояния соматического здоровья среди детской популяции в целом диктует необходимость поиска научно обоснованных стратегий диагностики и поддержания адаптационных ресурсов, направленных на обеспечение физиологического гомеостаза и повышение общего уровня соматической и психологической устойчивости детей и подростков. В современных исследованиях проблем здоровья человека выделяют две группы подходов в изучении его адаптационного потенциала – медико-биологические и психологические, между

которыми должна существовать определённая взаимосвязь. С медико-биологических позиций адаптационный потенциал – это количественное выражение уровня функционального состояния организма и систем жизнеобеспечения, характеризующее его способность адекватно и надёжно реагировать на комплекс неблагоприятных факторов при экономной трате функциональных резервов, что позволяет предотвратить развитие преморбидного состояния при отсутствии соматических или нервно-психических заболеваний [2, 3].

С психологической точки зрения адаптация зависит от личностных особенностей. Именно личностные характеристики во многом определяют успешность или не успешность адаптации, поэтому имеет место такое понятие как адаптационный потенциал личности [2, 4].

Известный российский психолог Маклаков А. Г. представляет личностный адаптационный потенциал как интегральное понятие личности, в котором следует выделять нервно-психическую устойчивость, коммуникативный потенциал и моральную нормативность, на основании которых делается вывод об адаптационных способностях подростков.

Современный подход к социальной реабилитации детей и подростков, оказавшихся в трудной жизненной ситуации, ориентирован на непродолжительное пребывание их в учреждениях социального типа. За период 6–12 месяцев следует подобрать индивидуальную программу реабилитации, направленную на пополнение физиологических ресурсов и достижение хорошего уровня их социально-психологической адаптации в социуме [5].

На основании изложенного выше, актуальным является поиск психологических и биологических маркеров риска нарушения здоровья и социальной дезадаптации детей-сирот и детей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации. Приоритетным является также формирование правильного отношения к жизни и жизнестойкого характера у данной категории детей и подростков.

В связи с этим, целью данного исследования явилось изучение уровня сформированности медико-биологических и психологических составляющих адаптационного потенциала детей-сирот и корреляционных взаимосвязей между этими показателями.

Объект исследования: адаптационный потенциал детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

Предмет исследования: составляющие адаптационного потенциала детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

В рамках данного исследования были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ структуры заболеваемости детей и подростков, находящихся в учреждениях социального типа;
2. Оценить уровень физиологического и психологического адаптационного потенциала этой категории детей;
3. Определить взаимосвязи между физиологическими и психологическими составляющими адаптационного потенциала.

В ходе теоретического исследования была сформулирована гипотеза, что типологические особенности центральной нервной системы и формирующиеся в

раннем детстве дисфункциональные убеждения могут служить предпосылками снижения адаптационного потенциала, нарушения соматического здоровья и формирования негативных черт характера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 30 детей, пребывающих в учреждениях социального типа г. Азова и Азовского района Ростовской области в возрасте 9–13 лет – 14 человек и в возрасте 14–17 лет – 16 человек. Привлечение детей к исследованию проводилось при добровольном информированном согласии родителей и законных представителей. Для анализа заболеваемости использовали данные медицинских карт детей и результаты диспансеризации. Оценку физиологического адаптационного потенциала проводили по показателям вегетативной регуляции, определяемой с помощью орто-клиностатической пробы. Проба выполнялась в 9 часов утра после пробуждения детей. Силу нервных процессов и работоспособность нервной системы оценивали по результатам теппинг-теста, который проводили перед началом занятий или в 8 часов 30 минут в день, свободный от занятий в школе. Для проведения психодиагностического анкетирования применялись следующие методики: теппинг-тест Ильина Е. П., методика Лачинса А. С. «гибкость мышления» (Нихаенко Е. Ю., 2018), шкала базовых убеждений Янов-Бульмана в адаптации Падун М. А., Котельниковой А. В., многофакторный личностный опросник Р. Кеттела (детский и подростковый варианты), многоуровневый личностный опросник «Адаптивность» Маклакова А. Г.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы StatTech v.1.2.0. Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка. Направление и теснота корреляционной связи между количественными показателями оценивались с помощью коэффициента корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ общей заболеваемости детей и подростков показал, что первая группа здоровья среди изучаемой выборки детей отсутствует, преобладают вторая (58 %) и третья группа здоровья (39 %).

Среди обследуемой категории большая часть детей и подростков имеют хронические заболевания. Обращает внимание большое число тубинфицированных (30 %) и часто болеющих детей (49 %), а также высокая частота неврологических и психических расстройств, нарушения поведения. В их число входят малые мозговые дисфункции и дизартрия (22,5 %), задержка психического развития (16,0 %), расстройства поведения (19 %), энурез (10 %). Особо следует отметить высокую частоту встречаемости дисфункций щитовидной железы (16 %) и болезней опорно-двигательного аппарата (более 30 %) (рис. 1).

Результаты исследования физиологических составляющих адаптационного потенциала детей и подростков.

С целью выявления функционального баланса симпатической и парасимпатической нервной систем детей и подростков была проведена ортоклиностатическая проба, которая показала, что у 98 % испытуемых отмечается выраженная симпатикотония, что говорит о напряжении процессов адаптации. У 2 подростков выявлен астеносимпатический и диастолический типы реагирования, что являются наиболее неблагоприятным с прогностической точки зрения как в отношении здоровья, так и физиологических адаптационных резервов организма.

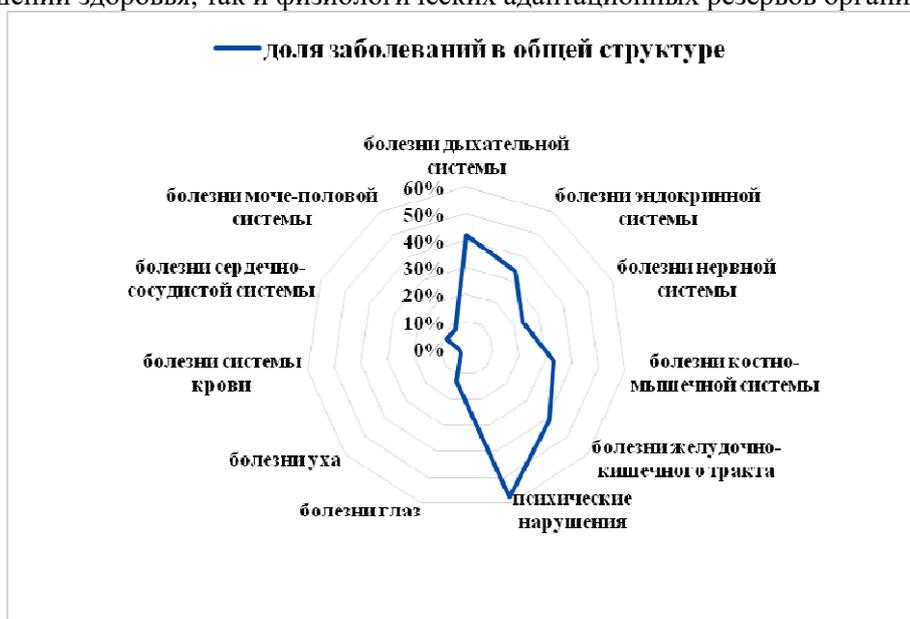


Рис. 1. Структура заболеваемости воспитанников учреждений социального типа в 2020–2021 гг.

Одним из факторов, от которого зависит характер протекания адаптационных и стресс-реакций, является также тип нервной системы. Согласно результатам, полученным с помощью теппинг-теста Ильина Е. П., сильный и средний типы нервной системы характерны для незначительного количества ребят (9 % и 23 % соответственно), а преобладают среднеслабый (41 %) и слабый (27 %) типы у данной категории испытуемых (табл. 1).

В соответствии с результатами методики А. С. Лачинса «гибкость мышления», которая входит в практикум по общей и когнитивной психологии Лобанова А. П., выявлено, что у 98 % воспитанников нервная система отличается неуравновешенностью с преобладанием процессов возбуждения, что говорит о напряжении протекающих адаптационных процессов. Наряду с этим отмечается высокая пластичность нервной системы, что является предпосылкой достижения оптимального уровня адаптационных процессов при своевременной коррекции состояния нервной системы у данной группы испытуемых.

Результаты исследования психологических составляющих адаптационного потенциала по методике Маклакова А. Г. «Адаптивность» показали, что личностный адаптационный потенциал оказался низким у всех 100 % воспитанников, а его составляющие, такие как поведенческая регуляция, коммуникативный потенциал и моральная нормативность были снижены, соответственно, у 100 %, 50 % и 75 % воспитанников. Деадаптационные нарушения оказались выраженными у 50 % обследованных, у 43 % – умеренными. Составляющими этих нарушений являются астенические и психотические реакции, которые имеют место у 57 % исследуемых.

Таблица 1.

Распределение детей в зависимости от типа нервной системы

Тип нервной системы	Процентное соотношение
сильный	9 %
средний	23 %
среднеслабый	41 %
слабый	27 %

С целью разобраться в основных причинах, способных привести к значительному снижению уровня адаптационного потенциала детей-сирот и детей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации, было проведено изучение базовых убеждений у детей и подростков данной категории в возрасте 9–17 лет с помощью методики Янов-Бульмана в адаптации Падун М. А., Котельниковой А. В.

Согласно Падун М. А., в раннем детстве у детей формируются ещё не убеждения, а некоторые «предрасположенности» (довербальные представления), которые в процессе последующего развития зададут соответствующее направление для оформления убеждений. Известно также, что понятийное мышление начинает формироваться с 11–12 лет, однако на этот процесс существенное влияние оказывает социальное окружение. Так, значимым социальным окружением для детей, пребывающих в учреждениях социального типа, являются именно другие подростки с уже сформировавшимися убеждениями, пребывающие с ними в рамках семейно-воспитательных групп. А наличие раннего травматического опыта у младших школьников делает эти довербальные представления более ригидными. Согласно нашим наблюдениям, данные факторы способствуют более раннему оформлению и закреплению базовых представлений о себе и об окружающем мире у данной категории детей. В связи с этим данная методика была применена с 9 лет.

Полученные результаты выявили искажения в структуре базовых убеждениях у 100 % исследуемых детей и подростков. Сниженными оказались представления о доброжелательности и справедливости окружающего мира у 32 % и 42 % соответственно, убежденность в собственной способности контролировать происходящие в жизни события снижена у 41 % исследуемых, у 5 %, напротив, завышена. При этом, так называемая гиперкомпенсаторная реакция, проявляется на фоне значительно завышенной самооценки и убежденности в собственной неуязвимости у 32 % опрошенных подростков. Низкую самооценку имеют 27 %

опрошенных, а убежденность в собственной неуспешности отмечалась у 36 % воспитанников.

Согласно таблице 2 у школьников в возрасте 9–13 лет преобладают такие качества характера как рискованность, обязательность, низкий уровень вербального интеллекта, тревожность и эмоциональная чувствительность. У подростков в возрасте 14–17 лет преобладают доминантность, общительность и высокая эмоциональная чувствительность.

Таблица 2.
Преобладающие черты характера среди воспитанников 9–13 и 14–17 лет

Качество Характера (9-13 лет)	Проц. соотн- ние	Ранг	Качество Характера (14-17 лет)	Проц. соотн- ние	Ранг
Замкнутость	63 %	3	Общительность	71 %	2
Низкий уровень вербального интеллекта	75 %	2	Эмоциональная нестабильность	50 %	5
Неуверенность в себе	50 %	4	Низкая нормативность	50 %	5
Возбудимость	63 %	3	Возбудимость	64 %	3
Подчинённость	50 %	4	Доминантность	92 %	1
Рискованность	100 %	1	Рискованность	64 %	3
Обязательность	75 %	2	Высокий уровень неврастении	57 %	4
Социальная несмелость	50 %	4	Высокий уровень вины	50 %	5
Чувствительность	75 %	2	Чувствительность	71 %	2
Тревожность	75 %	2	Высокий уровень групповой зависимости	57 %	4
Низкий уровень самоконтроля	63 %	3	Низкий уровень самоконтроля	64 %	3
Напряжённость	63 %	3	Напряжённость	57 %	4

Согласно нашим данным, полученным при исследовании взаимосвязи типа нервной системы с результатами теста Р. Кеттела, видно, что у детей с высокой силой нервной системы чаще отмечается низкая выраженность эмоциональной чувствительности и ранимости. Для них характерно стремление к независимости и доминированию над другими с применением агрессивных форм. У детей и подростков со слабой нервной системой отмечается высокий уровень чувствительности, внутреннего напряжения и заикленность на своих эмоциях.

Корреляционный анализ (с помощью коэффициента Пирсона) базовых убеждений, черт характера и составляющих адаптационного потенциала выявил значимые корреляционные взаимосвязи, представленные в таблице 3.

Таблица 3.
Корреляционные взаимосвязи базовых убеждений, черт характера и психологических составляющих адаптационного потенциала

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	r_{xy}/ρ	Теснота связи по шкале Чеддока	p
Убеждение: справедливость мира			
справедливость мира – коммуникативный потенциал низкий/высокий уровень	0,6	Заметная	0,023*
справедливость мира – расслабленность/напряжённость	-0,723	Заметная	0,066
справедливость мира – сдержанность/возбудимость	-0,527	Заметная	0,053
справедливость мира – застенчивость/общительность	0,578	Заметная	0,03*
справедливость мира – неуверенность в себе/уверенность	0,791	Высокая	0,019*
справедливость мира – самоконтроль низкий/высокий	-0,723	Высокая	0,066
Убеждение: доброжелательность мира			
доброжелательность мира – коммуникативный потенциал низкий/высокий уровень	0,685	Заметная	0,007*
доброжелательность мира – застенчивость/общительность	0,65	Заметная	0,012*
доброжелательность мира – групповая зависимость низкий/высокий уровень	-0,695	Заметная	0,083
доброжелательность мира – вербальный интеллект низкий/высокий уровень	0,794	Высокая	0,018*
доброжелательность мира – расслабленность/напряжённость	0,725	Высокая	0,042*

Убеждение: собственная удачливость			
удача – астенические реакции низкий/высокий уровень	-0,489	Умеренная	0,076
удача – вербальный интеллект низкий/высокий уровень	-0,662	Заметная	0,073
Убеждение: образ Я			
образ я – вербальный интеллект низкий/высокий уровень	-0,734	Высокая	0,038*
Убеждение: контроль происходящего в жизни			
контроль – самоконтроль	0,754	Высокая	0,031*
контроль – практичность/чувствительность	0,714	Высокая	0,047*
контроль – эмоциональная нестабильность/стабильность	0,532	Заметная	0,05*
контроль – моральная нормативность низкий/высокий уровень	0,564	Заметная	0,036*

Примечание: * обозначены достоверные корреляции ($p < 0,05$)

Так, на фоне убеждённости в справедливости и доброжелательности мира имеется тенденция к возрастанию вербального интеллекта, коммуникативного потенциала и открытости в общении, появлению расслабленности в составе личностного адаптационного потенциала, а также к нарастанию выраженности таких качеств характера как общительность, открытость, уверенность в себе, к снижению внутренней зажатости и групповой зависимости, к формированию оптимального уровня самоконтроля.

С повышением уровня убеждённости в собственной удачливости отмечается тенденция к снижению уровня астенических реакций.

При умеренном уровне убеждённости в адекватности своего образа Я имеется тенденция к состоянию эмоциональной стабильности, к повышению уровня вербального интеллекта, моральной нормативности.

При среднем уровне убеждённости в собственном контроле происходящих в жизни событий нарастает склонность к моральной нормативности и к повышению самоконтроля поведения.

Очень интересной оказалась выявленная тенденция в виде снижения уровня вербального интеллекта на фоне повышенного уровня общей эмоциональной чувствительности при чрезмерном нарастании убеждённости в превосходстве своего Я, собственной удачливости и ощущением полного контроля происходящего в своей жизни. Вероятно, стремление таких детей к доминированию и самоутверждению можно рассматривать как проявление защитной психологической реакции, что также ведёт к снижению адаптационного потенциала личности.

Как следует из результатов исследования, у большинства обследуемых детей снижены функциональные резервы организма как на уровне физиологических, так и

психологических составляющих адаптационного потенциала. Обследуемая категория детей отличается неадекватностью и избыточностью вегетативного реагирования в ответ на воздействие средних по силе стимулов с нарушением саморегуляции поведения. Этот дисбаланс проявляется нарушениями поведения, а также изменением суточных биоритмов, что оказалось характерно для большинства воспитанников учреждений социального типа. С нашей точки зрения, функциональное состояние нервной системы является важным критерием в оценке состояния здоровья детей и подростков. От состояния нервной системы зависит и здоровье, и жизнестойкость организма человека в целом. Известно, что устойчивое равновесие биоэнергетических процессов организма, а также индивидуальная вариабельность адаптивных реакций обеспечиваются, прежде всего, механизмами нервной регуляции. Вегетативные реакции непосредственно включены в адаптационно-трофическую функцию и хорошо отражают трудности, с которыми сталкивается ребенок или подросток в процессе своей жизнедеятельности [6, 7]. Высокая возбудимость нервных процессов, поддерживаемая симпатической активацией, является одной из причин, ведущих к снижению адаптационного потенциала детей и подростков, оказавшихся в трудной жизненной ситуации. По мнению академика Судакова К. В. симпатикотония представляет собой проявление так называемого «неспецифического адаптационного синдрома». При отсутствии своевременной коррекции этого вегетативного дисбаланса возможно развитие хронической патологии и новых заболеваний у исследуемых воспитанников.

Согласно Янов-Бульман, базисные убеждения обеспечивают ребенка чувством защищенности и доверия к миру, а в дальнейшем – ощущением собственной неуязвимости и успешностью в жизни. Любая психологическая травма и ранняя детская депривация виктимизируют личность и способствуют формированию такой черты характера как тревожность, не только ситуативная, но и личностная, асоциальных и агрессивных поведенческих стереотипов [8]. Степень стрессоустойчивости человека, адекватность его эмоциональных проявлений и поведенческих стереотипов зависит от того, какая картина мира у него формируется в процессе жизни, какие убеждения и установки по отношению к событиям этого мира сформируют фундамент его личности. Убеждения, которые формируются в процессе жизни человека, направлены на структурирование имеющихся знаний и жизненного опыта и выступают одним из ведущих механизмов адаптации [9, 10].

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что типологические особенности центральной и вегетативной нервной системы и формирующиеся в раннем детстве дисфункциональные базовые убеждения и довербальные представления могут быть предпосылками для формирования негативных черт характера детей и подростков и влиять на их адаптационный потенциал.

Размышляя о феномене жизнестойкости человека, педагог Байер Е. А. пришла к мнению, что это личностное качество, которое не передается генетически, а формируется и развивается в течение жизни человека [1]. Этот вывод согласуется с уже известным фактом о том, что биологическая предрасположенность к различным формам девиантного поведения проявляется только при наличии благоприятных условий окружающей среды. Подростковый возраст же является сенситивным для формирования адекватных процессов адаптации, в это время происходит

окончательное становление самосознания личности на основе полученного ранее опыта. Искажённые когнитивные схемы неизбежно отразятся на поведении детей и подростков, их способности к саморегуляции своего поведения и приведут к снижению адаптивного потенциала личности, став предпосылкой возникновения различных девиантных форм поведения и нарушений в состоянии здоровья.

В связи с выше изложенным, остро стоит вопрос о создании алгоритма экспресс-диагностики степени дезадаптации детей и подростков и подборе комплекса их медико-психолого-педагогической реабилитации. Время пребывания детей и подростков, оказавшихся в сложной жизненной ситуации, в учреждениях социального типа следует активно использовать, чтобы активизировать адаптационные функциональные резервы их организма в кратчайшие сроки, восстановить доброжелательную картину мира, трансформировать негативные черты характера и помочь скорректировать направление и ход их жизненной истории.

На основе полученных данных, с целью предотвращения дальнейшего избыточного перевозбуждения нервной системы и негативных психосоматических последствий у детей, пребывающих в учреждениях социального типа, с нашей точки зрения, необходимо проводить ежедневный аутотренинг по прогрессивной мышечной релаксации в вечернее время перед отходом ко сну. Также целесообразным будет проведение когнитивной психотерапии по трансформации негативных убеждений и имаго-терапии (архетипической психотерапии) с целью коррекции психологических травм и посттравматических стрессовых реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для современных детей и подростков, пребывающих в учреждениях социального типа, характерны высокий уровень общей заболеваемости и склонность к хронизации соматических заболеваний.
2. Низкий уровень функциональных резервов организма воспитанников, пребывающих в учреждениях социального типа формируется за счет высокой возбудимости нервных процессов, поддерживаемой симпатической активацией;
3. Реакции детей отличаются избыточностью вегетативного реагирования в ответ на различные стимулы (психоэмоциональные или физические) и, как правило, неадекватностью вегетативного обеспечения физической или психической деятельности.
4. У большинства исследуемых детей и подростков выявлены когнитивные искажения с формированием либо позиции жертвы, либо агрессивного самоутверждения, что в обоих случаях ведёт к снижению адаптационного потенциала.
5. Слабая нервная система предрасполагает к закреплению таких личностных качеств как эмоциональная ранимость, чувствительность и фрустрированность, тогда как сильная нервная система способствует формированию чрезмерно активной (даже агрессивной) борьбы за самоутверждение у детей-сирот или оказавшихся в трудной жизненной ситуации.
6. Выявлены корреляционные взаимосвязи между имеющимися у ребят базовыми убеждениями и такими составляющими адаптационного личностного

потенциала как нервно-психическая устойчивость, коммуникативный потенциал и моральная нормативность.

Список литературы

1. Байер Е. А. Исследование феномена жизнестойкости: теория и практика педагогической системы. [Электронный ресурс] / Е. А. Байер // Развитие личности – 2018 – №4. – С. 86–99 – Режим доступа: <http://rlonline.ru/articles/rl2018-04.html> (апрель 2021).
2. Китаев-Смык Л. А. «Психология стресса. Психологическая антропология стресса: монография»/ Китаев-Смык Л. А. – М.: Академический Проект, 2009. – 943 стр.
3. Николаев Е. Л. Адаптация и адаптационный потенциал личности. Соотношение современных исследовательских подходов. / Николаев Е. Л., Лазарева Е. Ю. // Вестник психиатрии и психологии Чувашии. – 2013. – №9. – С. 18–32.
4. Малинина В. В. Синергичная антропология Макария Великого / Малинина В. В. // «30 лет кафедре религиоведения Уральского федерального университета: сборник научных статей, Урал. федер. ун-т им. первого. президента России Б. Н. Ельцина, Ин-т соц. и полит. наук, Департамент философии, Каф. религиоведения / под науч. ред. Е. В. Иванова. – Екатеринбург: «Макс-Инфо», 2017 – 442 с.
5. Горбанева М. В. Психофизиология девиантного поведения как социально-психологическая проблема / Горбанева М. В., Колмакова Т. С., Байер Е. А. // «Педагогика и психология в современном мире»: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов/ под научн. ред.: Ш.М.-Х. Арсалиева – Махачкала: АЛЕФ, 2020. – 893 с.
6. Курзанов А. Н. Функциональные резервы организма: монография / А. Н. Курзанов, Н. В. Заболотских, Д. В. Ковалев; Рос. акад. естествознания. – Москва: Академия естествознания, 2016. – 95 с.
7. Агаджанян Н. А. Проблемы адаптации и учение о здоровье. / Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. – Учебное пособие. М.: РУДН. 2006. – 284 с.
8. Денисова Е. Г. Базисные убеждения как компонент ценностно-смысловой сферы личности / Денисова Е. Г., Сарелайнен А. И. // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2016. – Том 5, № 5А. – С. 34–43.
9. Зуева Е. Ю. Учение о доминанте А.Ухтомского на стыке естествознания, религии, философии, психологии и литературы. / Зуева Е. Ю. // «REM: Psychology. Educology. Medicine» онлайн, Н. Новгород-Черниговск. – 2015. – №3-4. – С. 78–89.
10. Петрова Е. А. Влияние детского психотравматического опыта на формирование иррациональных установок взрослых / Петрова Е. А. // Вестник Новгородского государственного университета. – 2017. – № 1 (99). – С. 44–48.

CORRELATION RELATIONSHIPS PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL COMPONENTS OF THE ADAPTIVE POTENTIAL OF CHILDREN AND ADOLESCENTS LIVING IN INSTITUTIONS OF SOCIAL TYPE

Gorbaneva M. V.^{1,2}, Kolmacova T. S.², Baier E. A.³, Grigoryan N. A.²

¹*Azov children's aid center, Rostov-on-Don, Russian Federation*

²*Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russian Federation*

³*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation*

E-mail: gor-margo@yandex.ru

In the modern reality children and adolescents who find themselves in difficult life situations face many stress factors, which cause significant tension and rapid exhaustion of their adaptive reserves. The aim of this research is to study the level of formation of

biomedical and psychological components of adaptive capacity of orphans and the correlations between these parameters.

The following tasks were set:

1. Analyze the structure of the incidence of children and adolescents living in social type institutions.
2. Estimate the level of physiological and psychological adaptive potential of this kind of children.
3. Determine the relationship between the physiological and psychological components of the adaptive potential.

The research involved in total 30 children staying in social institutions in the city Azov, the Azov district of the Rostov region at the age of 9–13 years old – 14 person and at the age of 14–17 years old – 16 person.

During this research, we came to the following conclusions:

1. For modern children and adolescents staying in institutions of a social type, a high level of general morbidity and a tendency to chronization of somatic diseases are characteristic;
2. A low-level of functional reserves of organisms of pupils staying in institutions of a social type is formed due to the high excitability of nervous processes, supported by sympathetic activation;
- Children's reactions are characterized by redundancy of vegetative response in reply to various incentives (psychoemotional or physical) and, as a rule, inadequacy of vegetative support of physical or mental activity;
3. Most of children and adolescents under study showed cognitive distortions with the formation of either a victim position or aggressive self-assertion, which in both cases leads to a decrease in adaptive potential;
4. A weak nervous system predisposes to the consolidation of such personal qualities as emotional vulnerability and sensitivity, while a strong nervous system contributes to the formation of an overly active struggle for self-affirmation in orphans;
5. Revealed correlations between the basic convictions of children and such components of the adaptive personal potential as neuropsychic stability, communicative potential and moral normativity.

In connection with the above outlined, it is planned to create an algorithm for express diagnostics of maladjustment degree of children and adolescents and the selection of a complex for their medical, psychological and pedagogical rehabilitation.

Keywords: health, stress, adaptive abilities, convictions, character traits, orphans, correlation relationships.

References

1. Bayer E. A. Study of the phenomenon of resilience: theory and practice of the pedagogical system. [Electronic resource], *Personal development*, **4**, 86. Access mode: <http://rionline.ru/articles/r12018-04.html> (April 2021) (2018).
2. Kitaev-Smyk L. A. *Psychology of stress. Psychological anthropology of stress: a monograph*, 943 p. (Moscow: Academic Project, 2009).
3. Nikolaev E. L., Lazareva E. Yu. Adaptation and adaptive potential of the individual. The correlation of modern research approaches, *Bulletin of Psychiatry and Psychology of Chuvashia*, **9**, 18 (2013).

4. Malinina V. V. *Synergetic anthropology of Makarii the Great*, " 30 years of the Department of Religious Studies of the Ural Federal University: a collection of scientific articles, Ural. feder. un-t named after the first. President of Russia B. N. Yeltsin, In-t soc. and polit. of Sciences, Department of Philosophy, Department of Religious Studies under the scientific ed. of E. V. Ivanov, 442 p. (Yekaterinburg: "Maks-Info", 2017).
5. Gorbaneva M. V., Kolmakova T. S., Bayer E. A. *Psychophysiology of deviant behavior as a socio-psychological problem*, "Pedagogy and psychology in the modern world": materials of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists, postgraduates, undergraduates and students/ under scientific ed.: Sh. M.-Kh.Arsalieva, 893 p. (Makhachkala: ALEF, 2020).
6. Kurzanov A. N., Zabolotskikh N. V., Kovalev D. V. *Functional reserves of the body: monograph, Russian Academy of Sciences natural sciences*, 95 p. (Moscow: Academy of Natural Sciences, 2016).
7. Aghajanyan N. A., Baevsky R. M., Berseneva A. P. *Problems of adaptation and the doctrine of health*, 284 p. (Textbook. Moscow: RUDN, 2006).
8. Denisova E. G., Sarelainen A. I. Basic beliefs as a component of the value-semantic sphere of personality, *Psychology. Historical and critical reviews and modern research*, **5**, **5A**, 34 (2016).
9. Zueva E. Y. *The doctrine of the dominant A. Ukhtomsky at the intersection of natural science, religion, philosophy, psychology and literature*, «REM: Psychology. Educology. Medicine "online, **3-4**, 78 (N. Novgorod-Chernihiv, 2015).
10. Petrova E. A. The influence of children's psychotraumatic experience on the formation of irrational attitudes of adults, *Bulletin of the Novgorod State University*, **1(99)**, 44 (2017).

УДК 574.21

**БИОМОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАЛУГИ
ПО ОТДЕЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ
(НА ПРИМЕРЕ ACER PLATANOIDES L.)**

Евсеева А. А., Файзиев Д. Ш.

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

Как правило, при оценке здоровья среды используют оценку показателей асимметрии в комплексе по всем изучаемым признакам листовой пластинки. Интересной становится разработка экспресс-методик оценки здоровья среды по отдельным изучаемым признакам. Настоящее исследование останавливается на проблеме изучения чувствительности отдельных признаков листовой пластинки *Acer platanoides* L. к воздействиям факторов внешней среды. Материалы для исследования были собраны на 9 площадках, заложенных в рекреационных объектах города Калуги в 2018–2020 гг. Исходя из проведенного анализа, листья, собранные в 2018 г. более подвержены различным факторам антропогенного воздействия, в частности воздействию автотранспорта. При рассмотрении показателей 2018 и 2020 гг. мы можем наблюдать отличия, связанные с количественным изменением этого фактора. Для оценки здоровья городской среды нами рекомендуются анализируемые признаки 1-4.

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, здоровье среды, клен остролистный.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние зеленых насаждений, выполняющих множество экосистемных функций (рекреационные, оздоровительные, познавательные, защитные, эстетические и др.) во многом влияет на благополучие среды крупных урбанизированных территорий. С другой стороны, растительность города испытывает непосредственное антропогенное воздействие городской инфраструктуры, промышленных предприятий и транспорта, что отражается, в том числе, на выживании древесных растений. Исследования, посвященные использованию фанерофитов в качестве объектов биоиндикации, показывают, что современное развитие деревьев и кустарников парков, скверов, придомовых территорий и насаждений вдоль дорог часто оценивается, как неудовлетворительное [1, 2].

Оценка состояния фанерофитов в экстремальных условиях произрастания выполняется с использованием различных методов, одним из которых является оценка стабильности развития и проявление асимметрии листовых пластинок [3, 4]. Как правило, при оценке здоровья среды используют оценку показателей асимметрии в комплексе по всем изучаемым признакам листовой пластинки [5]. Интересной становится разработка экспресс-методик оценки здоровья среды по

отдельным изучаемым признакам. Для этого необходимо установить наиболее чувствительные к внешним воздействиям признаки. Существует ряд работ, в которых приводится учет отдельных признаков асимметрии [1, 6, 7]. Настоящее исследование останавливается на проблеме изучения чувствительности отдельных признаков листовой пластинки *Acer platanoides* L. к воздействиям факторов внешней среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы для исследования были собраны на 9 площадках, заложенных в рекреационных объектах города Калуги в 2018–2020 гг. (рис. 1).

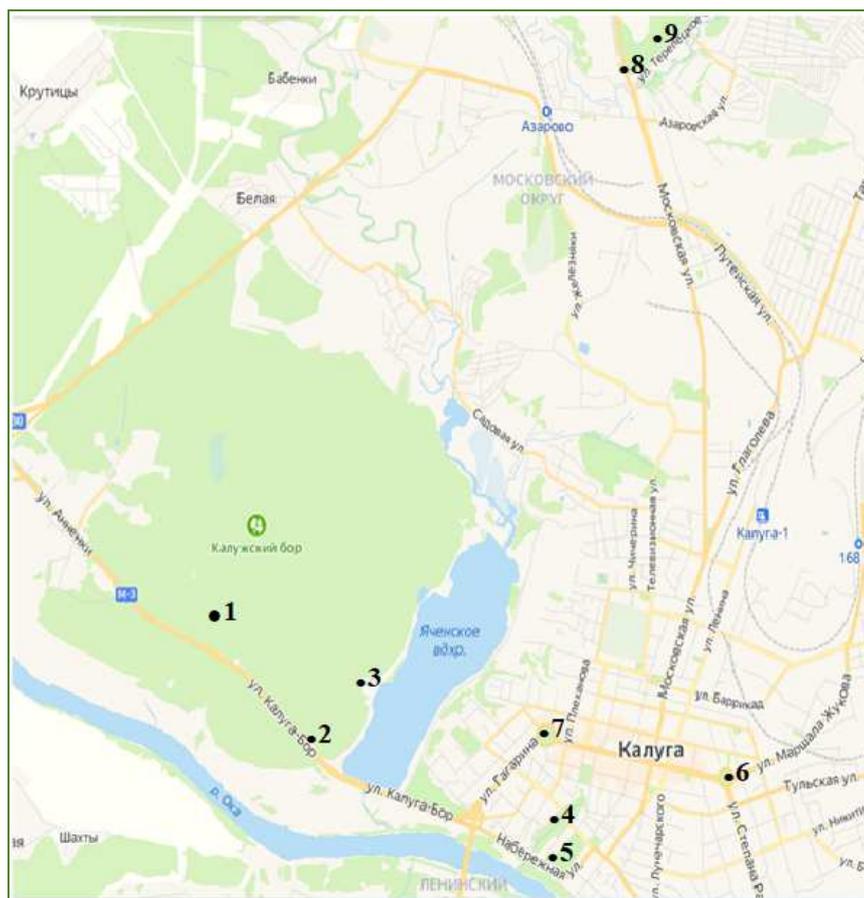


Рис. 1. Расположение точек исследования в городе Калуга:

1. Калужский бор (100м от трассы);
2. Калужский бор (Велопрокат);
3. Калужский бор (лесничество);
4. Березуйский овраг;
5. Парк культуры и отдыха;
6. Площадь Победы;
7. Сквер мира;
8. Усадьба Яновских (у дороги);
9. Усадьба Яновских (центральная часть).

Сбор листьев проводится после окончания периода роста. Обработка материала проводилась при помощи пакета программ Biondication tool kit [8]. Изучаемые признаки представлены на рисунке 2. Разработка признаков для последующего анализа опиралась на классические методики оценки флуктуирующей асимметрии листовых пластинок [3–5], с учетом морфологических особенностей листьев *Acer platanoides* L.

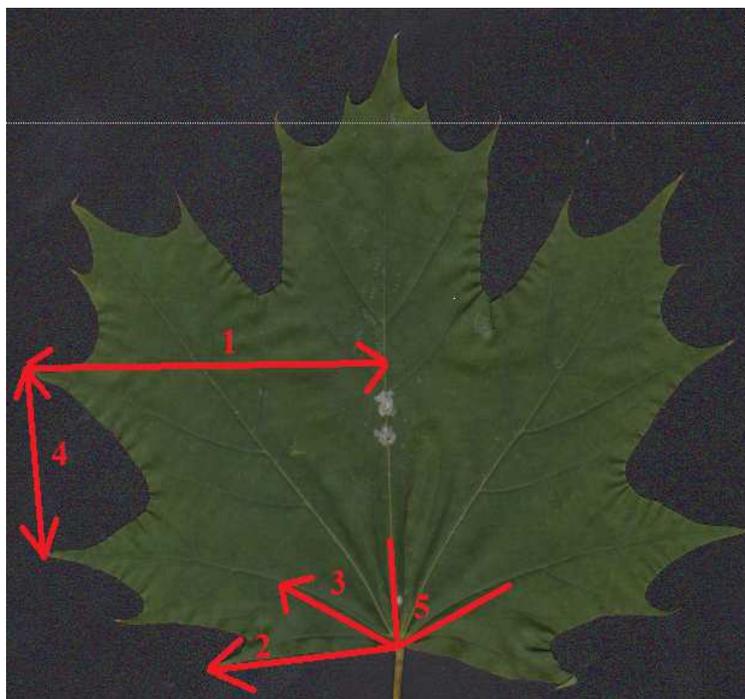


Рис. 2. Показатели измерения листовой пластинки Клёна остролистного:

- 1 показатель – Ширина левой и правой половинок листа
- 2 показатель – Расстояние от основания до конца жилки первого порядка, первой от основания листа
- 3 показатель – Расстояние между основаниями второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 4 показатель – Расстояние между концами второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 5 показатель – Угол между главной жилкой и второй жилкой от основания листа жилкой первого порядка

На ближайших к объектам крупных автодорогах велся учет авторанспорта, данные представлены на таблице 1.

Таблица 1.
Учет загруженности дорог автотранспортом в час вблизи объектов исследования.

Наименование объекта Количество автотранспорта	Пло- щадь Победы	Сквер Мира	Березуйский овраг	Парк культуры и отдыха	Калужский городской бор	Парк усадьбы Яновских
Будни	383	395	341	352	319	337
Час пик в будни	723	748	683	698	620	628
Выходные	300	327	291	297	278	264

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 1 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на рисунке (рис. 3).

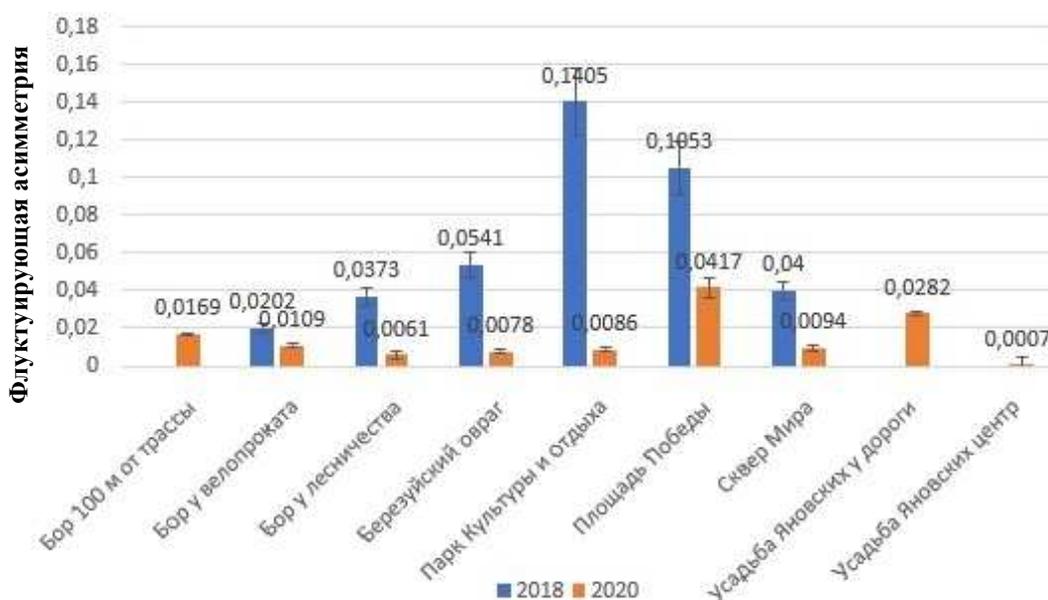


Рис. 3. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 1 признаку (*Acer platanoides* L.).

В 2020 г. среднее значение показателей асимметрии составило $0,0151 \pm 0,0019$. Максимальное значение в этом году определяется на площадке, расположенной на Площади Победы. Минимум же наблюдается в точке, расположенной в Калужском городском бору (у лесничества). На этой площадке отмечаются минимальные значения по сравнению с другими точками исследования, поскольку данная

территория находится в относительном удалении от источников антропогенного воздействия и листовые пластинки имеют нормальное развитие.

На площадке в Усадьбе Яновских, находящейся в центре парка, значения гораздо ниже, чем значения площадок, расположенных в усадьбе у дороги. Также низкие значения отмечены на площадке в сквере Мира, возможно это связано с введенным режимом самоизоляции, введенном в Калужской области весной 2020 г. Способствовать такой динамике, по нашему мнению, мог режим самоизоляции, который длился с апреля по май 2020 года. Автотранспорт, по данным министерства природных ресурсов и экологии Калужской области, является главным загрязнителем воздуха в городе Калуга. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, отмечается значительное снижение угарного газа и взвешенных частиц в воздухе г. Калуги в период самоизоляции в 2020 г. [9]. На других площадках в 2020 году отмечается высокий уровень коэффициента асимметрии, например, в Усадьбе Яновских. Хотя в 2020 г. интенсивность движения автотранспорта снизилась, эти площадки испытывают, предположительно, воздействие располагающейся здесь городской промышленной зоны.

На площадках Калужского городского бора и Березуйского оврага отмечены низкие значения асимметрии, что можно объяснить естественным происхождением и крупными размерами данных объектов исследования.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 2 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на графике (рис. 4).

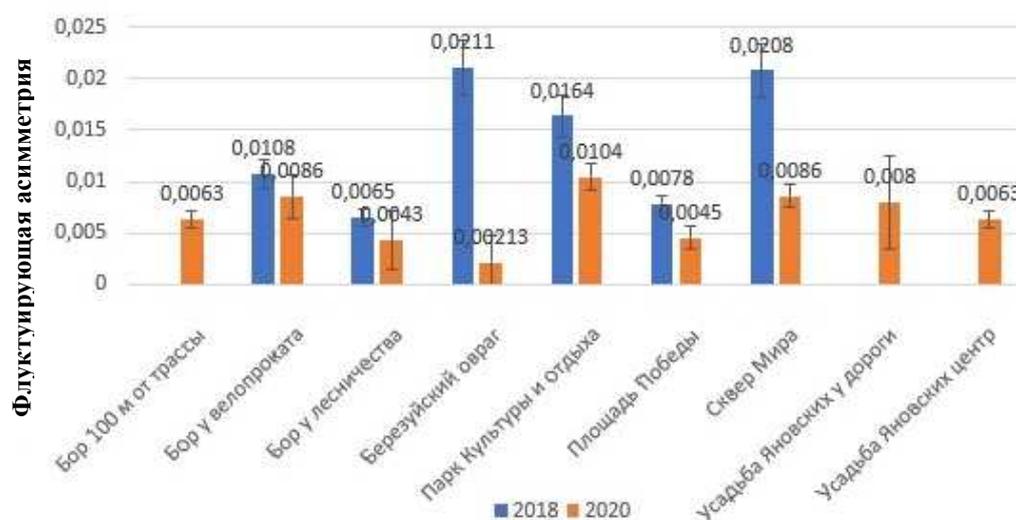


Рис. 4. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 2 признаку (*Acer platanoides* L.).

Среднее значение в 2018 г. составило $0,0138 \pm 0,0029$. Максимальным значением характеризуется площадка в Березуйском овраге, находящаяся близко к автодороге.

В данном случае естественное природное происхождение растительности оврага не предохранило листья от негативного воздействия. Минимум в этот период по признаку наблюдается на площадке в Калужском Бору (у лесничества). Обусловлено это тем, что территория лесничества находится на достаточном расстоянии от дороги, что способствует меньшему воздействию выбросов автомобилей. Кроме того, территория Калужского городского бора является остаточным естественным природным объектом, экосистемные связи которого позволяют снижать негативные последствия внешних воздействий. Высокие значения исследуемых показателей га площадке в сквере Мира обусловлены значительно высоким автодорожным потоком. Также высокие значения отмечены в Усадьбе Яновских, обусловлено это тем, что эти точки находятся вблизи городской промзоны, выбросы которой оказывают влияние на окружающую среду.

Среднее значение в 2020 г. составило $0,00657 \pm 0,000920706$. Максимальное значение наблюдается в точке, расположенной в парке Культуры и отдыха, но по сравнению в 2018 этот показатель уменьшился, что опять же говорит о меньшей нагрузке на данную территорию во время самоизоляции, проходящей в период закладки листовых пластинок весной.

Минимум показателя асимметрии наблюдается на площадке в Березуйском овраге, так как в период развития листьев (период самоизоляции), на дорогах отмечалось заметное уменьшение количества автотранспорта.

Низкие значения определены в Калужском бору по аналогичным причинам, что и в 2018 г, однако при сравнении 2018 и 2020 гг. показатели здесь в целом меньше, что возможно также связано с состоянием воздуха при режиме самоизоляции.

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии по 3 признаку листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides* L.) представлены на рисунке (рис. 5).

В 2018 г. среднее значение составило $0,0465 \pm 0,0079$. Наибольший показатель коэффициента асимметрии наблюдается в Березуйском овраге, что указывает на то, что внешнее воздействие на этой площадке было высоким, возможно связанным с близостью площадки к проезжей части с высоким потоком автотранспорта. Минимальный показатель наблюдается на площадке в сквере Мира, а приближенное к нему значение на площади Победы.

В 2020 г. среднее значение составило $0,0212 \pm 0,0035$. Максимум в этом году наблюдается в точке Усадьба Яновских, находящаяся вблизи автодороги, а также в условиях промышленного загрязнения. Минимум же в этом году отмечен в сквере Мира, что предположительно связано с введенным режимом самоизоляции и уменьшением количества автотранспорта на дорогах. Что интересно, в 2020 г. площадки в сквере Мира и на площади Победы практически по всем изучаемым признакам уходят с позиций наиболее низкого качества среды в городе, поэтому возможно предположить, что автотранспорт является основополагающим фактором загрязнения в центральной части города. Интересно также и то, что в условиях самоизоляции максимальные значения асимметрии наблюдаются на площадках города, где помимо автотранспорта наблюдается воздействие промышленности (например, усадьба Яновских). Таким образом, лишь при снижении общей транспортной нагрузки на город, наиболее неблагоприятные условия среды

отмечаются в тех районах, где есть источники промышленного загрязнения. При обычной транспортной нагрузке высокие показатели асимметрии «смещаются» в районы с интенсивным движением автотранспорта. Этот факт подтверждает мнение о том, что основным загрязнителем воздуха в городской среде является автотранспорт [10].

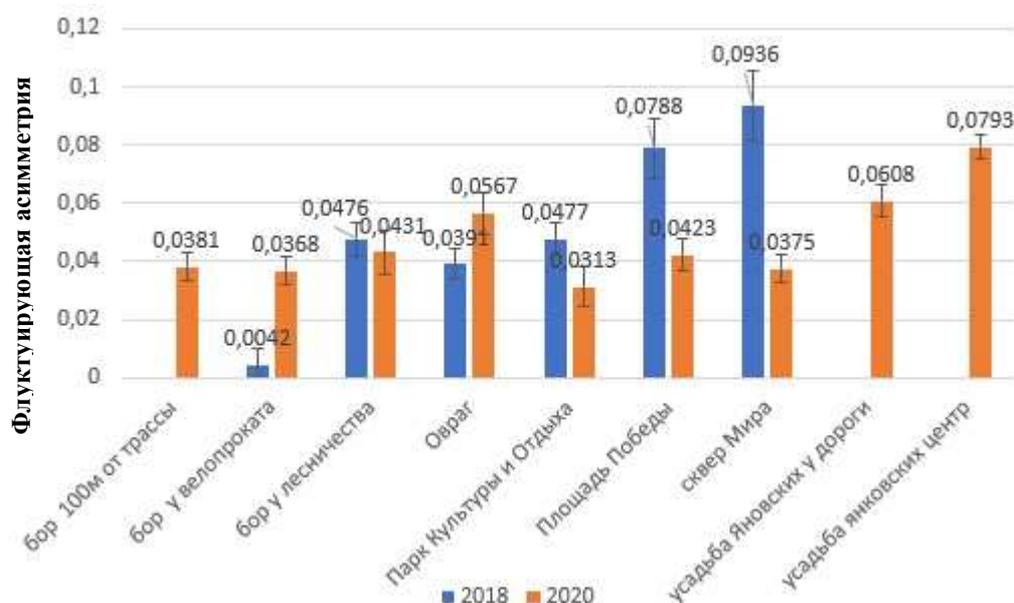


Рис. 5. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 3 признаку (*Acer platanoides* L.).

Расчет показателей асимметрии по 4 признаку представлен ниже на рисунке 6.

В 2018 г. среднее значение составило $0,05183 \pm 0,0140$. Максимум коэффициента флуктуирующей асимметрии наблюдается в точке сквер Мира. Минимум наблюдается на площадке Бор у велопроката.

В 2020 г. среднее значение составило $0,0473 \pm 0,0054$. Минимальное значение наблюдается в парке Культуры и отдыха. Минимум наблюдается на площадке в Городском бору у велопроката. Парк усадьбы Яновских подвержен воздействию многих антропогенных факторов, высокие значения асимметрии здесь в 2020 г. — это показатель того, как было сказано выше, что здесь оказывают влияние на растительность выбросы промышленности.

Расчет показателей асимметрии по 5 признаку представлен ниже на рисунке 7. В 2018 г. среднее значение составило $0,0382 \pm 0,0110$. Максимальное значение находится в Березуйском овраге, минимальное в сквере Мира.

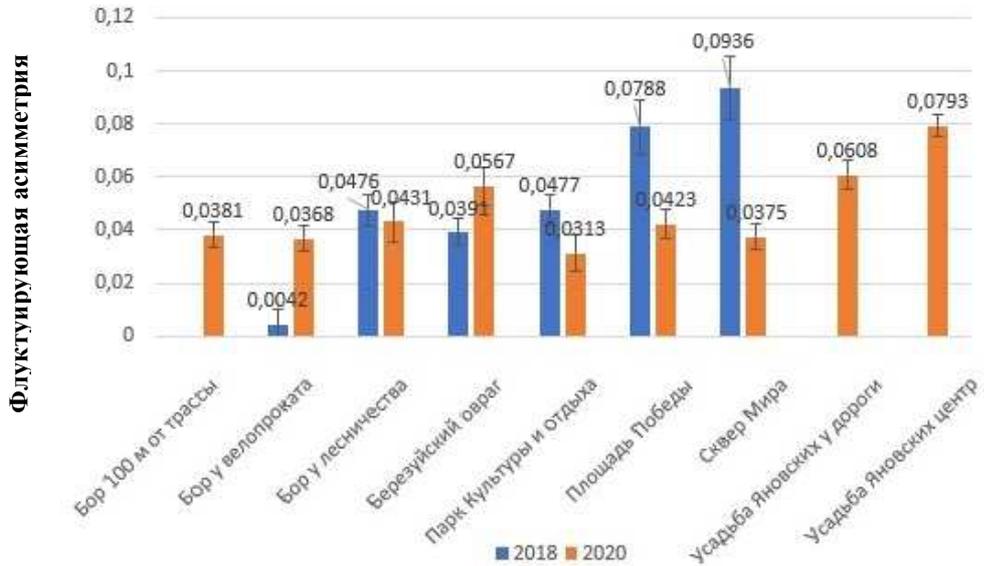


Рис. 6. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 4 признаку (*Acer platanoides* L.).

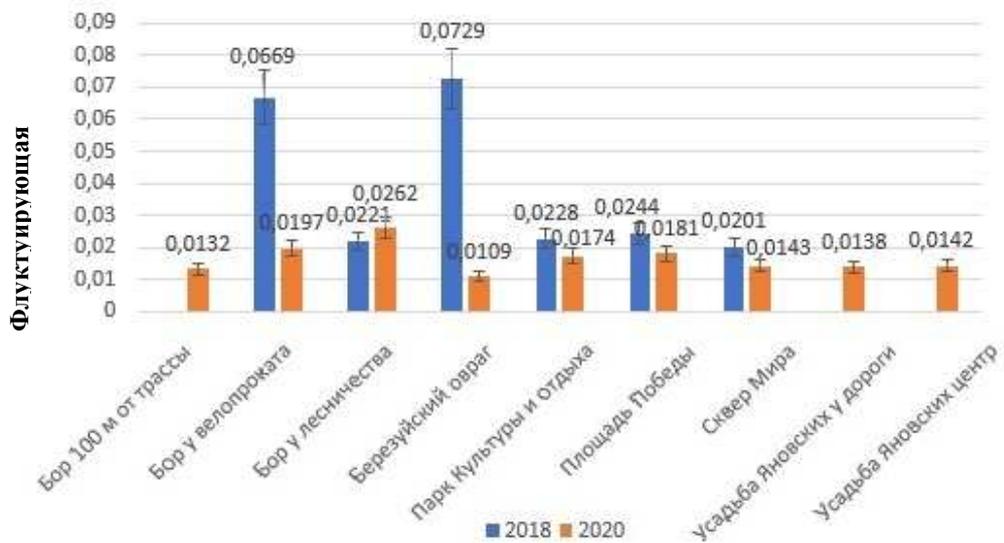


Рис. 7. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 5 признаку (*Acer platanoides* L.).

В 2020 г. среднее значение составило $0,0164 \pm 0,0016$. Максимум наблюдается в Городском бору у лесничества. Минимум же отмечен в точке Березуйский овраг.

Овраг имеет большую территорию большие размеры которой позволяют ей в определённой мере сопротивляться негативным факторам внешней среды. По нашему предположению, 5 признак оказался неинформативным, поскольку значения измерений в 2020 г. не демонстрируют разницу между объектами изучения, расположенными в различных частях города и подверженных различным уровням воздействия. В целом графическое выражение 5 признака указывает на его отличие от других анализируемых признаков, и возможно он не является чувствительным к предполагаемым факторам воздействия.

Исходя из анализа и проведенных измерений можно сказать о том, что значения асимметрии при анализе по отдельным признакам могут значительно отличаться друг от друга в одних и тех же условиях. Это показывает, что на отдельные признаки, по которым ведется анализ, могут влиять разные факторы.

В работе авторов М. С. Шарафутдиновой и Б. С. Харитонцева при изучении липы мелколистной (*Tilia Cordata* L.) выявлены статистически значимые корреляции между признаками второй и третьей листовой пластинки [7]. Мы также попытались найти корреляцию между признаками асимметрии листовых пластинок *Acer platanoides* L. Результаты расчетов за 2018 г. представлены в таблице 2.

**Таблица 2.
Корреляции между признаками листовой пластинки клена остролистного за 2018 г.**

	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5
Признак 1	-0.333	0.176	0.055	-0.236
Признак 2		0.552	0.042	0.333
Признак 3			0.236	0.442
Признак 4				-0.006

Между значениями флуктуирующей асимметрии не была найдена корреляция, но была обнаружена тенденция к ней между вторым и третьим признаками.

Из таблицы 3 видно, что в 2020 г. корреляции и тенденции к корреляции между значениями признаков флуктуирующей асимметрии не наблюдаются.

**Таблица 3.
Значения корреляции между исследуемыми признаками листовой пластинки клена остролистного за 2020 г.**

	Признак 2	Признак 3	Признак 4	Признак 5
Признак 1	0.2	-0.1	-0.05	-0.033
Признак 2		0.142	-0.158	0.2
Признак 3			0.25	-0.15
Признак 4				0.067

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из приведенного выше материала можно составить общий вывод о том, что листья, собранные в 2018 г. более подвержены различным факторам антропогенного воздействия, в частности воздействию автотранспорта. В докладе Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области «о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2018 г.» автотранспорт указан как один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха [10]. И действительно, при рассмотрении показателей 2018 и 2020 гг. мы можем наблюдать отличия, связанные с количественным изменением этого фактора. Можно предположить, что снижение значений показателей асимметрии по сравнению с 2018 г. произошло в следствие с уменьшения автотранспорта на дорогах в период режима самоизоляции, введенного в связи с пандемией коронавирусной инфекции, вызванной SARS-CoV-2. Однако, не все признаки листовой пластинки *Acer platanoides* L. оказались чувствительными к предполагаемому изменению экспозиции воздействующих факторов. Анализируемые признаки 1-4 выражаются в единицах длины, возможно, эти характеристики листовой пластинки клена остролистного более пластичны к воздействию факторам по сравнению с признаком 5, выражаемым в градусах (угол между главной жилкой и второй жилкой от основания листа жилкой первого порядка). Для оценки здоровья городской среды нами рекомендуются признаки 1-4, поскольку их значения проявляют графическое сходство с результатами классического анализа флуктуирующей асимметрии, рассчитанной по 5 признакам в совокупности. Также отмечается сходство реакции этих признаков листовых пластинок с реакцией показателей асимметрии по 5 признакам на изменения экспозиции автотранспорта. Данные сходства указывают на чувствительность данных признаков к внешним воздействиям и дают возможность использовать их как маркеры оценки здоровья городской среды.

Список литературы

1. Чернакова О. В. Оценка стабильности развития *Acer ginnala* Maxim. в г. Иркутске по флуктуирующей асимметрии листьев / О. В. Чернакова // Вестник ИрГСХА. – 2019. – №95. – С. 84–92.
2. Кулагин А. Ю. Мониторинг состояние древесных насаждений берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях Уфимского промышленного центра / А. Ю. Кулагин, О. В. Тагирова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №10 (185). – С. 27–29.
3. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки. / Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
4. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, Ю. А. Буйлов, М. В. Кравченко. – Москва : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
5. Константинов Е. Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как вида биоиндикатора: дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Е. Л. Константинов. – Калуга, 2001. – 126 с.
6. Полонский В. И. Использование флуктуирующей асимметрии супротивных листьев *Syringa josikaea* Jacq. в биоиндикации загрязнения г. Красноярск / В. И. Полонский // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №1 (21). – С. 77–82.

7. Шарафутдинова М. С. Особенности флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа популяций *Tilia cordata* Mill. в условиях юга тюменской области / М. С. Шарафутдинова, Б. С. Харитонцев // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1, No 2. – С. 129–135.
8. Стрельцов А. Б. Здоровье среды (школьный практикум). Региональное учебно-методическое пособие / А. Б. Стрельцов [и др.]. — Калуга: Издательство КГПУ им. К. Э. Циолковского, 2006. – 40 с.
9. Официальный портал органов власти Калужской области [Электронный ресурс] // URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37 дата обращения 21.04.21.
10. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2018 году [Электронный ресурс] // <http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC/index.php> (дата обращения: 06.05.2021).

**BIOMONITORING OF THE HEALTH OF THE KALUGA URBAN
ENVIRONMENT BY INDIVIDUAL SIGNS OF FLUCTUATING ASYMMETRY
(USING THE EXAMPLE OF ACER PLATANOIDES L.)**

Evseeva A. A., Fayziev D. Sh.

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

The state of green spaces that perform many ecosystem functions largely affects the well-being of the environment of large urbanized territories. On the other hand, the vegetation of the city experiences a direct anthropogenic impact of urban infrastructure, industrial enterprises and transport, which affects, among other things, the survival of woody plants. Studies on the use of phanerophytes as objects of bioindication. they show that the modern development of trees and shrubs in parks, squares, house territories and plantings along roads is often assessed as unsatisfactory. The assessment of the state of phanerophytes in extreme growing conditions is carried out using various methods, one of which is to assess the stability of development and the manifestation of asymmetry of leaf blades. As a rule, when assessing the health of the environment, an assessment of asymmetry indicators is used in a complex for all the studied signs of the leaf blade. The development of express methods for assessing the health of the environment according to the hotel characteristics under study is becoming interesting. To do this, it is necessary to establish the most sensitive signs to external influences. The present study focuses on the problem of studying the sensitivity of individual characteristics of the leaf blade *Acer platanoides* L. to the effects of environmental factors.

Materials for the study were collected at 9 sites laid in recreational facilities of the city of Kaluga in 2018–2020. The collection of leaves is carried out after the end of the growth period. The processing of the material was carried out using the Biondication tool kit software package.

Interestingly, in 2020, the sites in Mira Square and Victory Square are moving away from the positions of the lowest quality of the environment in the city in almost all the studied signs, so it is possible to assume that motor transport is the fundamental factor of

pollution in the central part of the city. It is also interesting that in conditions of self-isolation, the maximum values of asymmetry are observed at city sites where, in addition to motor transport, the impact of industry is observed (for example, the Yanovsky estate). Thus, only with a decrease in the overall transport load on the city, the most unfavorable environmental conditions are observed in those areas where there are sources of industrial pollution. With a normal traffic load, high asymmetry indicators "shift" to areas with heavy traffic. This fact confirms the opinion that the main air pollutant in the urban environment is motor transport. No correlation was found between the values of fluctuating asymmetry, but a tendency to it was found between the second and third signs. No correlation was found between the values of fluctuating asymmetry, but a tendency to it was found between the second and third signs. Based on the above material, it is possible to draw a general conclusion that the leaves collected in 2018 are more susceptible to various factors of anthropogenic impact, in particular the impact of motor transport. When considering the indicators for 2018 and 2020, we can observe differences related to the quantitative change in this factor. Not all signs of the leaf blade *Acer platanoides* L. they turned out to be sensitive to the expected change in the exposure of the influencing factors. To assess the health of the urban environment, we recommend the analyzed signs 1-4.

Keywords: biomonitoring, fluctuating asymmetry, development stability, environmental health, holly maple.

References

1. Chernakova O. V. Assessment of the stability of development of *Acer ginnala* Maxim. in Irkutsk by fluctuating asymmetry of leaves. *Bulletin of the IrGSHA*, **95**, 84 (2019)
2. Kulagin A. Yu., Tagirova A. YU. Monitoring of the state of hanging birch tree plantations (*Betula pendula* Roth.) in the conditions of the Ufa industrial Center, *Bulletin of the Orenburg State University*, **10 (185)**, 27 (2015).
3. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I. etc. *Environmental health: assessment methodology*, Center for Environmental Policy of Russia, 318 (Moscow, 2000).
4. Zakharov V. M. *Environmental health: assessment methodology Moscow*, Center for Environmental Policy of Russia, 68. (Moscow, 2000).
5. Konstantinov E. L. *Features of fluctuating asymmetry of the leaf blade of the hanging birch* (*Betula pendula* Roth.) as a type of bioindicator: dis. cand. biol. nauk: 03.00.16 E. L. Konstantinov, 126 (Kaluga, 2001).
6. Polonsky V. I. Use of fluctuating asymmetry of opposite leaves of *Syringa josikaea* Jacq. in bioindication of pollution in Krasnoyarsk, *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, **1 (21)**, 77 (2016).
7. Sharafutdinova M. S., Kharitontsev B. S. Features of fluctuating asymmetry of bilateral leaf features of *Tilia cordata* Mill populations. in the conditions of the south of the Tyumen region, *Bulletin of the Tyumen State University, Ecology and nature management*, **1.2**, 129 (2015).
8. Streltsov A. B. *Health of the environment (school practice). Regional educational and methodological manual*, Publishing House of KSPU named after K. E. Tsiolkovsky, 40 (Kaluga, 2006.).
9. Official portal of the Kaluga region authorities [Electronic resource]. URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37. Accessed 21.04.21.
10. Report on the state of natural resources and environmental protection in the Kaluga Region in 2018 [Electronic resource] URL: <http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OOC/index.php> Accessed 06. 05. 2021.

УДК 575.174.015.3:582.475.4/.2

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-55-67

**ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ ОТБОРА МАТЕРИНСКИХ
ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ БЕЛОЙ,
ПРОДУЦИРУЮЩИХ СЕМЕННОЕ ПОТОМСТВО С ОПРЕДЕЛЕННЫМ
УРОВНЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ**

Калаев В. Н.¹, Игнатова И. В.¹, Харченко Н. Н.², Карпова С. С.³

¹*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация*

²*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова», Воронеж, Российская Федерация*

³*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный институт физической культуры», Воронеж,
Российская Федерация*

E-mail: Dr_Huixs@mail.ru

В статье описаны цитогенетические предикторы для отбора материнских деревьев сосны обыкновенной и ели белой, продуцирующих семенное потомство с разным уровнем стабильности генетического материала. Основным маркером, который характеризует слабомутабельную группу у двух представителей хвойных древесных видов, выступает отсутствие патологий митоза. Показатель «доля клеток на стадии метафазы митоза» позволяет отнести проросток к той или иной группе по степени стабильности генетического материала у исследуемых видов. Отличным предиктором, который позволяет четко отделить слабомутабельную, промежуточные и мутабельную группы друг от друга у сосны обыкновенной, является показатель «среднее число ядрышек в ядре клетки».

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ель белая, цитогенетический предиктор, стабильность генетического материала, цитогенетические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с меняющимся климатом на планете остро встает вопрос сохранения генетических ресурсов растений. В настоящее время наблюдается обеднение генофонда лесных древесных растений из-за то, что в ходе выборочных рубок шло уничтожение ценных по хозяйственным признакам экземпляров и использование семян от оставшихся экземпляров, которые не обладали лучшими качествами. К обеднению генофонда приводит также использование семян из других районов. Было замечено, что высокий уровень генетической гетерогенности позволяет популяции адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, обеспечивает стабильность популяции [1, 2] и является ресурсом для проведения селекционных работ [3]. На гетерогенности популяций основывается отбор ценных генотипов при создании лесосеменных плантаций, который проводят по фенотипу [4]. Между тем исследования показывают, что от фенотипически нормальных деревьев не всегда получается хорошее потомство. Провести оценку потомства

позволяет цитогенетический метод [5]. С его помощью можно выделить среди семенного потомства материнские деревья с разным уровнем стабильности генетического материала. Подобные работы выполнены в Воронежской области по дубу черешчатому, березе повислой, сосне обыкновенной, ели белой, рододендрону Ледебера, ели колючей, ореху грецкому [6–14]. Во всех работах даны характеристики выделенных групп, но отсутствует формальное обоснование выбора маркеров, которые позволили бы отнести проросток к той или иной группе. Для решения данной задачи используют методы ROC-анализа, который позволяет среди множества исследуемых характеристик выбрать предикторы (показатель, который позволяет разделить выборку на группы с заданными характеристиками), позволяющие отнести каждый конкретный объект к той или иной группе [15].

Целью работы стало выявление среди цитогенетических показателей маркеров (предикторов) для отбора деревьев, продуцирующих семенное потомство с разной стабильностью генетического материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования явились проростки семян фенотипически нормальных деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в Хоперском государственном природном заповеднике (51°10'56.9"N 41°44'17.2"E), и ели белой, произрастающих в ботаническом саду им. проф. Б.М. Козо-Полянского Воронежского государственного университета (51°42'41.57"N 39°12'17.57"E). Деревья не имели видимых повреждений вредителями. Методика приготовления и анализа препаратов проростков семян изложена в работе [16]. В ходе исследования определяли 20 цитогенетических показателей: митотический индекс (с учетом и без учета клеток на стадии профазы митоза), уровень патологий митоза (с учетом и без учета клеток на стадии профазы митоза), доли клеток на стадиях профазы, метафазы, анафазы, доли клеток с 1–10 ядрышками в ядре интерфазных клеток, долю клеток с микроядрами, долю клеток с остаточными ядрышками в интерфазе и митозе. Статистическую обработку результатов исследования проводили при помощи программ STADIA 7.0 и MedCalc 17.5.3 [15, 17]. Диагностическую ценность предиктора характеризует площадь под ROC-кривой: 0.9–1.0 – отличная; 0.8–0.9 – очень хорошая; 0.7–0.8 – хорошая, 0.6–0.7 – средняя, 0.6 и меньше – неудовлетворительная.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее методами кластерного анализа у исследуемых видов выделили проростки с разным уровнем стабильности генетического материала [7, 9]. Рядом авторов [8, 12–14] было показано, что проростки с низким уровнем нарушений митоза растут быстрее и имеют лучшие морфологические показатели по сравнению с проростками с высоким уровнем патологий митоза.

Для выявления цитогенетических предикторов генетической стабильности был использован ROC-анализ. Данный метод позволяет отделить одну группу от другой, но не всегда дает возможность провести границы между всеми исследуемыми группами. Такие показатели, как доля клеток с 1–10 ядрышками в ядре, не

позволяют разделить проростки на группы по степени стабильности генетического материала у обоих исследуемых видов.

ROC-кривые предикторов, позволяющие отделить проростки мутабельной группы от слабомутабельной, представлены на рис. 1 и 2. Как видно из рисунков, у ели количество цитогенетических показателей, по которым можно разделить две группы проростков, больше, чем у сосны. Такие показатели, как доля клеток на стадии профазы и ана-телофазы митоза позволяют провести разделение групп у двух исследуемых видов растений.

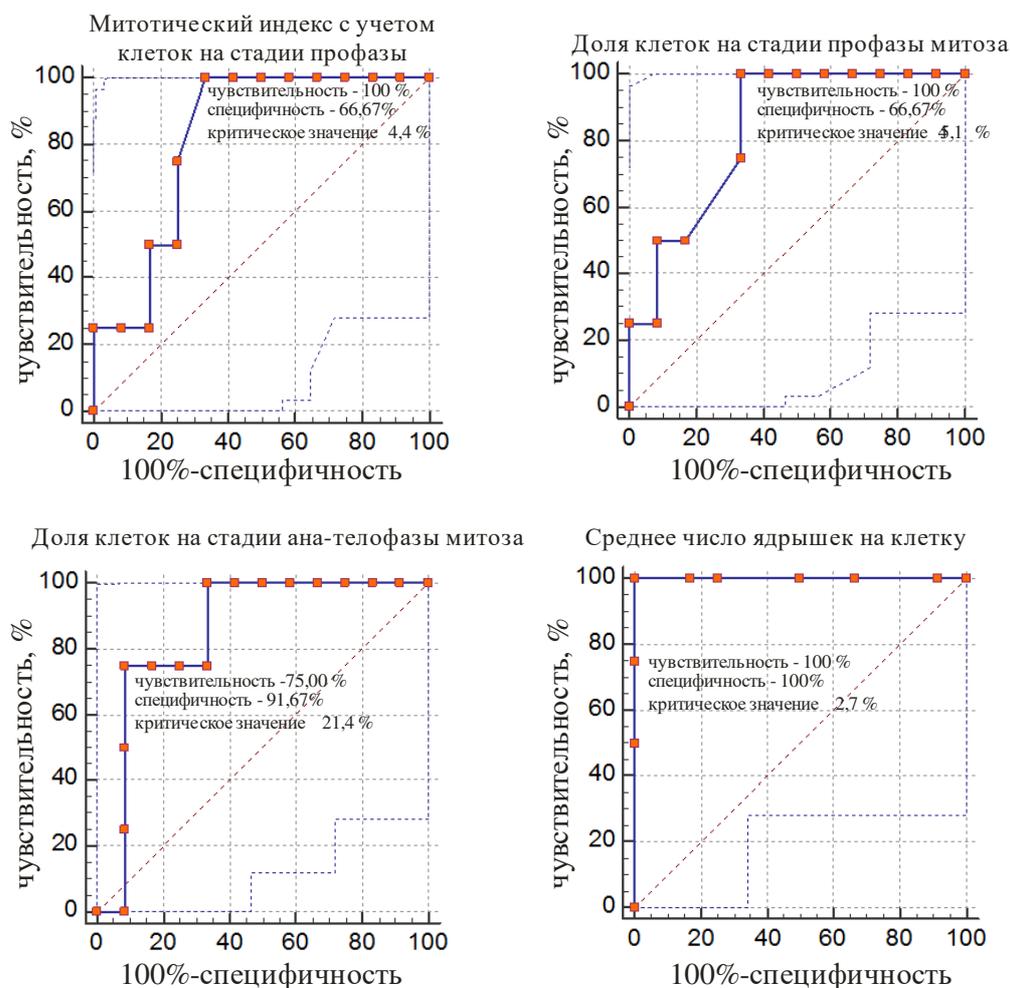


Рис. 1. ROC-кривые предикторов для разделения мутабельной и слабомутабельной групп проростков у сосны обыкновенной

У сосны отличным диагностическим критерием мутабельной группы является среднее число ядрышек на клетку, остальные цитогенетические признаки показали себя как очень хорошие диагностические критерии.

У ели белой хорошими показателями выступают митотический индекс, подсчитанный с учетом клеток на стадии профазы митоза, доля клеток на стадии метафазы и ана-телофазы митоза; остальные цитогенетические критерии являются очень хорошими диагностическими показателями.

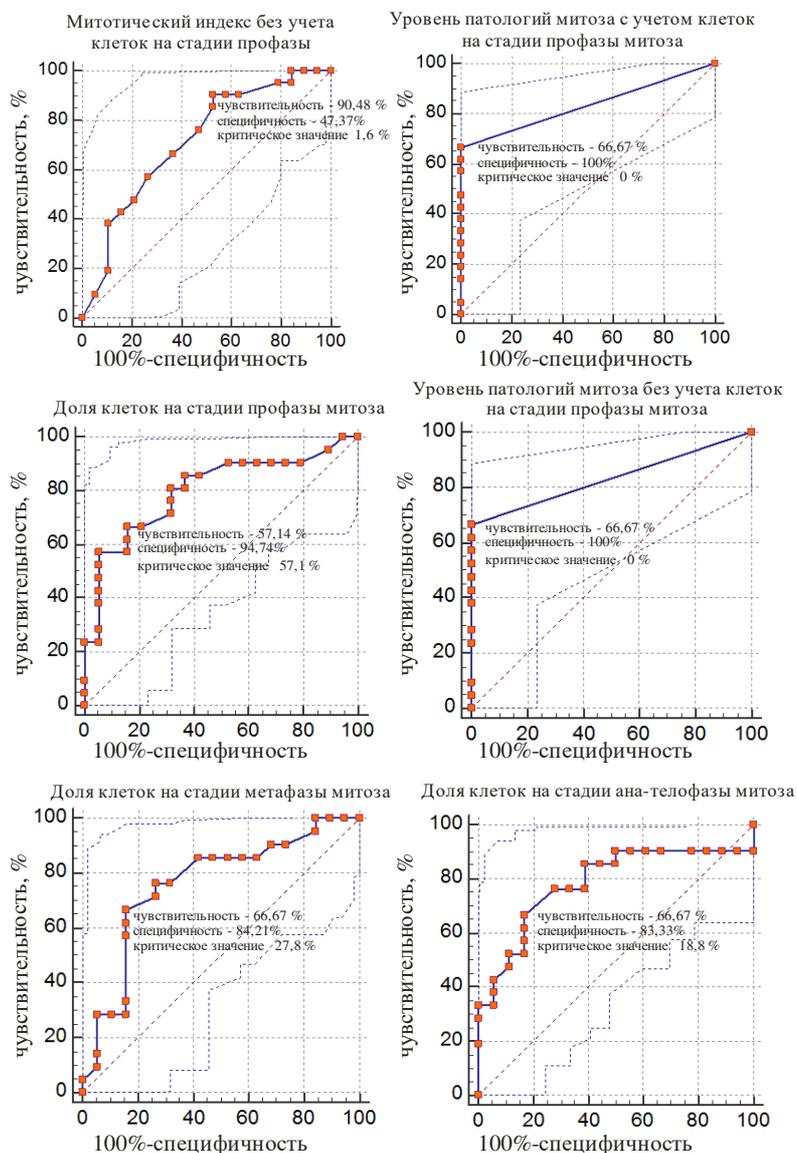


Рис. 2. ROC-кривые предикторов для разделения мутабельной и слабомутабельной групп проростков у ели белой

ROC-кривые предикторов, позволяющие отделить слабомутабельную группу от промежуточной, представлены на рис. 3 и 4. У сосны обыкновенной таких показателей 6, а у ели белой – 8. Такие показатели, как митотический индекс, подсчитанный без учета клеток на стадии профазы, уровень патологий митоза, подсчитанный с учетом и без учета клеток на стадии профазы, доля клеток на стадии метафазы, у обоих видов могут служить для отделения проростков из слабомутабельной группы от проростков из промежуточной группы.

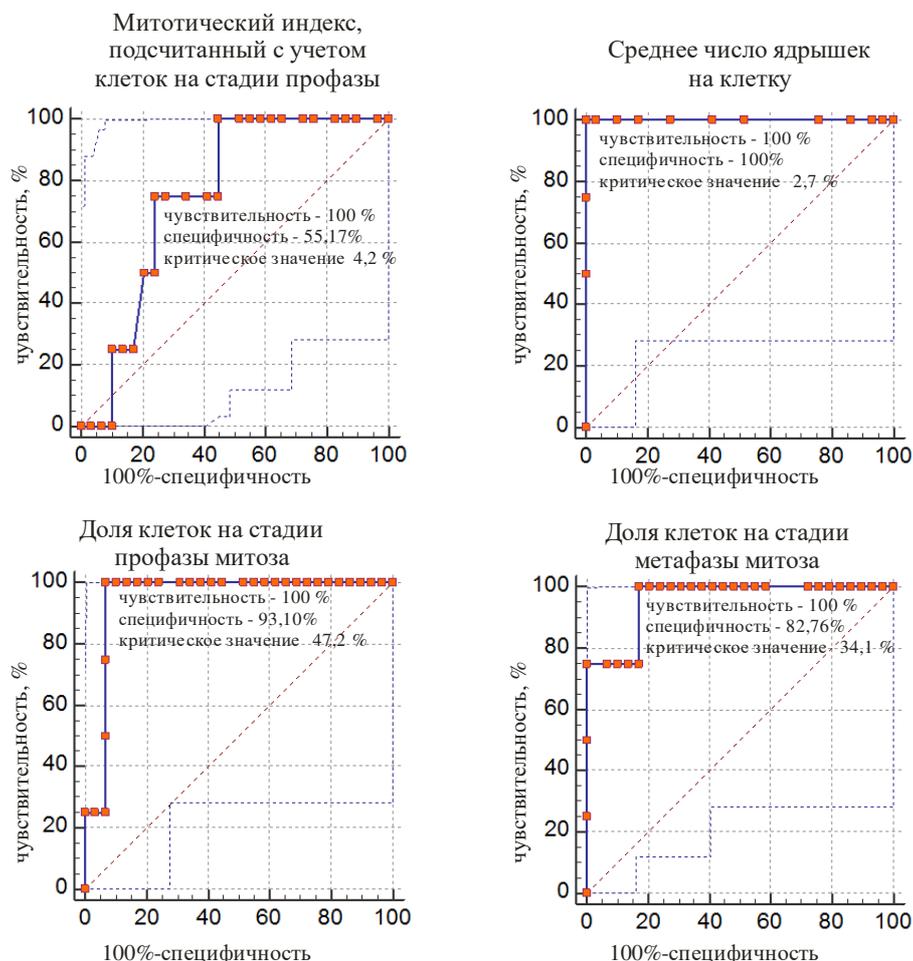


Рис. 3. ROC-кривые предикторов для разделения мутабельной и промежуточной групп проростков у сосны обыкновенной

ROC-кривые предикторов для отделения проростков из мутабельной группы от проростков из промежуточной группы представлены на рис. 5 и 6. У сосны это 4 показателя, у ели – 8. Общими для двух видов являются предикторы «доля клеток на стадии профазы» и «доля клеток на стадии метафазы».

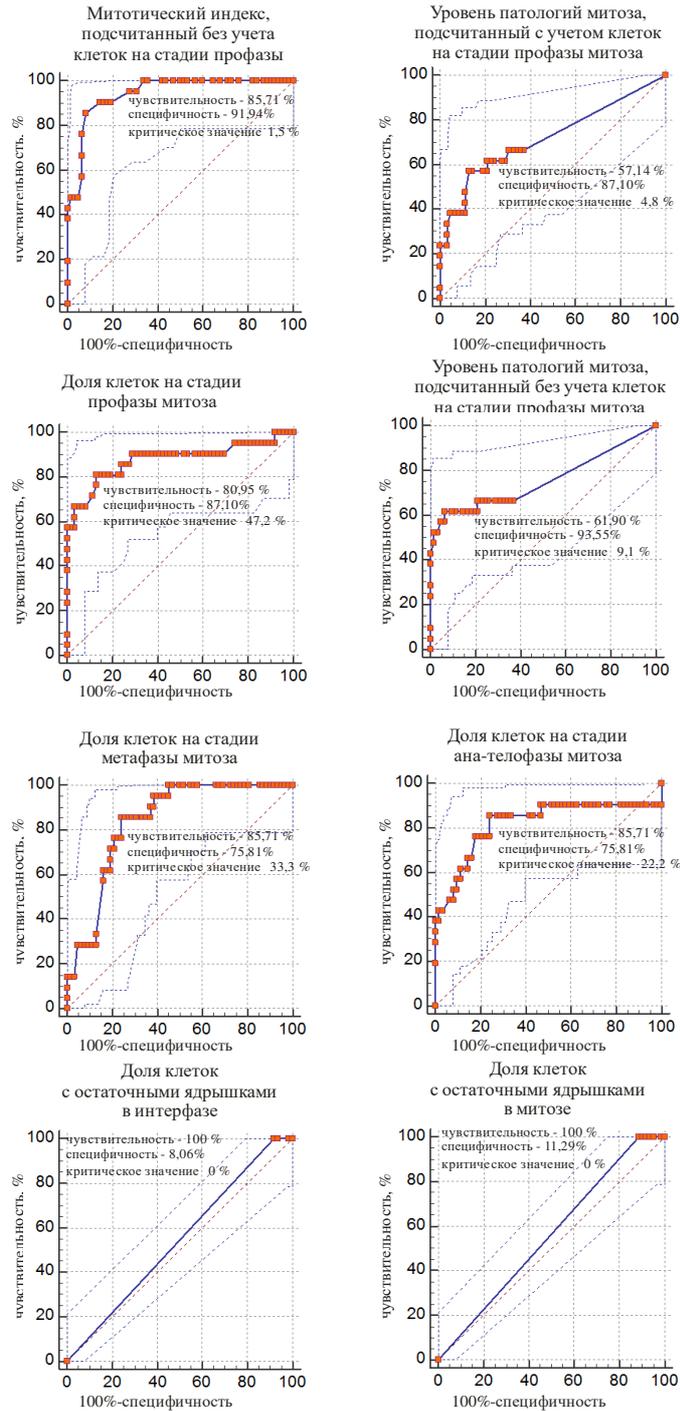


Рис. 4. ROC-кривые предикторов для разделения мутабильной и промежуточной групп проростков у ели белой

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ ОТБОРА МАТЕРИНСКИХ...

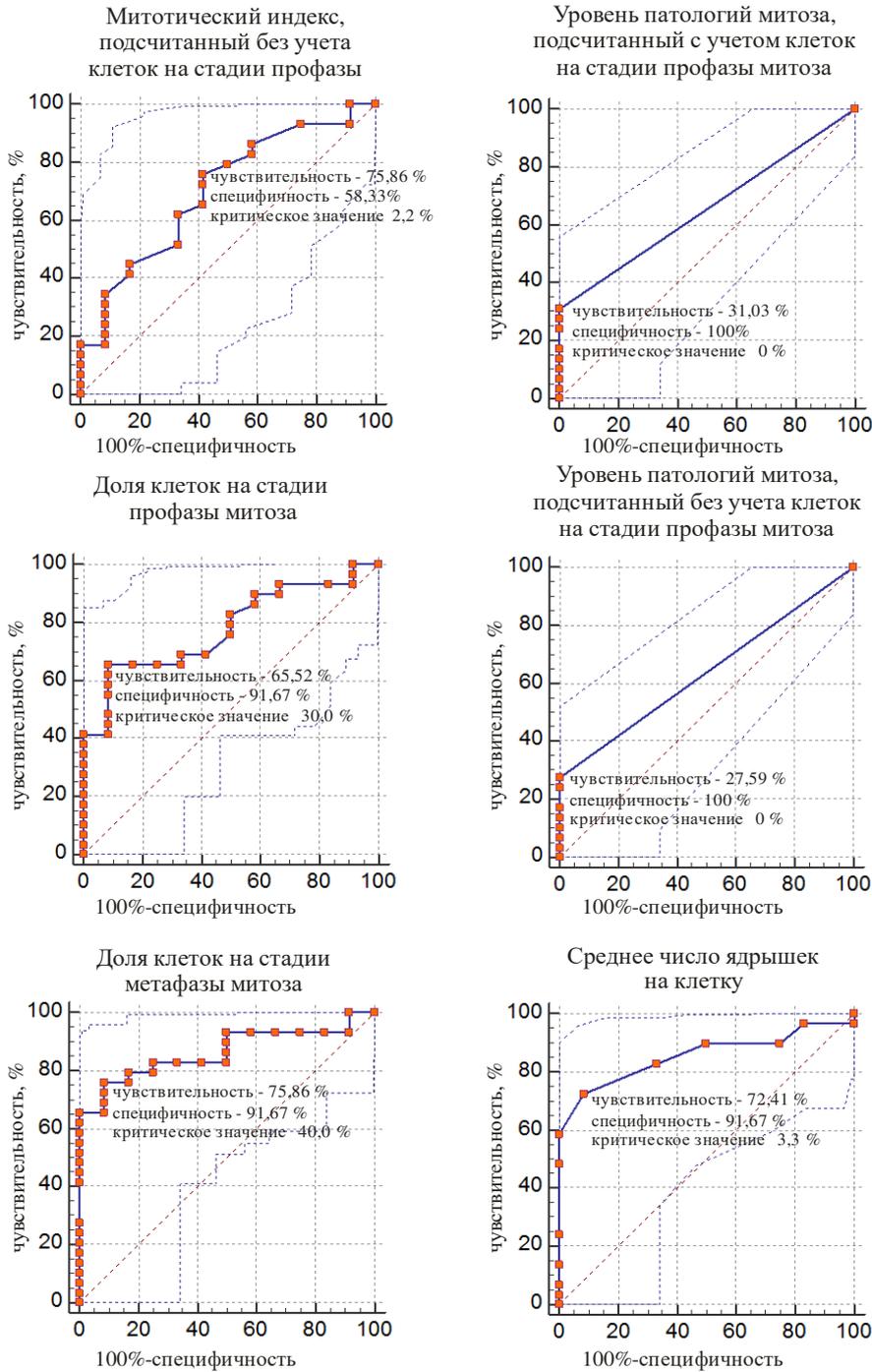


Рис. 5. ROC-кривые предикторов для разделения слабомутабельной и промежуточной групп проростков у сосны обыкновенной

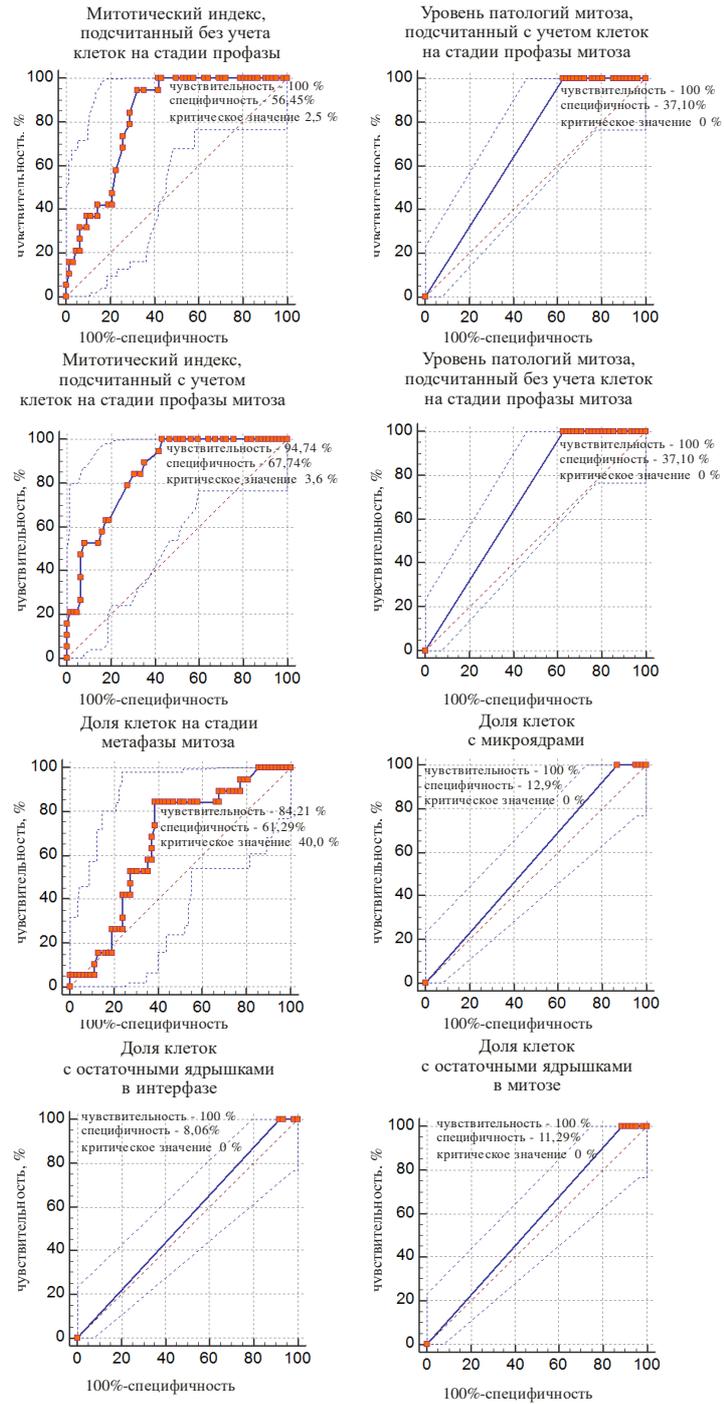


Рис. 6. ROC-кривые предикторов для разделения слабомутабельной и промежуточной групп проростков у ели белой

Среди цитогенетических показателей есть такие, которые подходят для отделения мутабельной группы от слабомутабельной и промежуточной, а также слабомутабельной от промежуточной. У сосны к ним относятся доля клеток на стадии профазы и среднее число ядрышек в ядре, у ели – митотический индекс без учета клеток на стадии профазы, уровень патологий митоза с учетом и без учета клеток на стадии профазы и доля клеток на стадии метафазы. Есть показатели, которые позволяют отграничить мутабельную группу от слабомутабельной и от промежуточной, но не подходят для разделения слабомутабельной и промежуточной групп. К их числу у сосны относятся митотический индекс, подсчитанный с учетом клеток на стадии профазы, у ели – доля клеток на стадии метафазы и ана-телофазы. По некоторым показателям можно отграничить промежуточную группу от мутабельной и слабомутабельной, но нельзя отграничить мутабельную группу от слабомутабельной. У сосны такими показателями выступают доля клеток в метафазе, а у ели – доля клеток с остаточными ядрышками в интерфазе и мета-телофазе. Выявлены показатели, которые позволяют отграничить только мутабельную от слабомутабельной (у сосны – доля клеток на стадии ана-телофазы), и слабомутабельную от промежуточной (у сосны – митотический индекс с учетом клеток на стадии профазы, уровень патологий митоза с учетом и без учета клеток на стадии профазы, у ели – митотический индекс с учетом клеток на стадии профазы, доля клеток с микроядрами).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований можно рекомендовать проводить отбор деревьев, продуцирующих семенное потомство с разным уровнем стабильности генетического аппарата, по цитогенетическим показателям, представленным в таблице.

Для того, чтобы дать оценку семенного потомства дерева, необходимо определить цитогенетические показатели проростков семян (минимальное количество 10 штук). Каждый исследуемый проросток относят к одной из трех групп (по большинству показателей). Затем считают количество проростков в каждой группе (слабомутабельной, мутабельной и промежуточной) и дают рекомендации о дальнейшем использовании семенного потомства изучаемого дерева.

Таблица
Значения цитогенетических показателей, позволяющих отнести проросток к группе с разным уровнем стабильности генетического материала

Цитогенетический показатель	Сосна обыкновенная			Ель белая		
	слабо-мутабельная	промежуточная	мутабельная	слабо-мутабельная	промежуточная	мутабельная
Митотический индекс, подсчитанный с учетом клеток на стадии профазы митоза, %	<4,4	<4,2	>4,4 >4,2	≤3,6	≥3,6	–

Продолжение таблицы

Митотический индекс, подсчитанный без учета клеток на стадии профазы митоза, %	>2,2	<2,2		1,6–2,5	≥2,5	<1,6
Уровень патологий митоза, подсчитанный с учетом клеток на стадии профазы митоза, %	0	>0	–	0	<4,8	>4,8
Уровень патологий митоза, подсчитанный без учета клеток на стадии профазы митоза, %	0	>0	–	0	≤9,1	≥9,1
Доля клеток на стадии профазы, %	30–46,1	≤47,2 ≤30	>47,2 >46,1	<57,1	<47,2	>57,1 >47,2
Доля клеток на стадии метафазы, %	>40	34,1–40	<34,1	27,8–40	>40	<27,8
Доля клеток на стадии ана-телофазы, %	>21,4	–	<21,4	>18,8	>22,2	<18,8 <22,2
Среднее число ядрышек в ядре, шт.	2,7–3,3	>2,7 >3,3	<2,7	–	–	–

Список литературы

1. Милютин Л. И. О некоторых проблемах сохранения лесных генетических ресурсов Сибири / Л. И. Милютин // Тезисы III Междунар. совещания «Сохранение генетических ресурсов лесов Сибири». – Красноярск: КрасГАУ, 2011. – С. 94–95.
2. Booy G. Genetic diversity and the survival of populations / G. Booy, R. J. J. Hendriks, M. J. M. Smulders [et al.] // Plant biology. – 2000. – № 2. – P. 379–395.
3. Ivetić V. Concerns and evidence on genetic diversity in planted forests / V. Ivetić, J. Devetaković // Reforesta. – 2017. – № 3. – P. 196–207.
4. Отбор плюсовых деревьев и насаждений: методич. указания / ПетрГУ; сост. Н. В. Лаур, А. П. Царев. – Петрозаводск, 2005. – 36 с.
5. Вострикова Т. В. Область использования цитогенетического метода в лесной генетике и селекции на примере березы повислой / Т. В. Вострикова // Лесное хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 30–31.
6. Бурменко Ю. В. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства интродуцентов на примере *Rhododendron ledebourii* Rojark / Ю. В. Бурменко, Т. В. Баранова, В. Н. Калаев [и др.] // Turczaninowia. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 164–173.
7. Калаев В. Н. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства сосны обыкновенной на востоке Воронежской области / В. Н. Калаев, В. Г. Артюхов, В. Н. Попов [и др.] // Лесоведение. – 2010. – № 4. – С. 56–65.
8. Калаев В. Н. Цитогенетические характеристики и морфологические показатели семенного потомства деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), произрастающих на территориях с разным уровнем антропогенного загрязнения / В. Н. Калаев, А. А. Попова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2014. – № 4. – С. 63–72.
9. Калаев В. Н. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства деревьев ели белой (*Picea glauca* (Moench) Voss) при интродукции в Воронежской области / В. Н. Калаев, И. В. Игнатова, Е. А. Калаева // Turczaninowia. – 2020. – Т. 23, № 3. – С. 185–204.
10. Карпова С. С. Влияние антропогенного загрязнения на цитогенетический полиморфизм семенного потомства березы повислой (*Betula pendula* Roth) в естественных и искусственных древостоях: дис. ... канд. биол. наук. / Карпова С. С. – Воронеж, 2011. – 149 с.

11. Карпова С. С. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства деревьев ореха грецкого (*Juglans regia* L.) при интродукции в Воронежской области / С. С. Карпова, Ф. Р. Х. Аль-Хачами, В. Н. Калаев [и др.] // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 2. – С. 21–29.
12. Пат. № 2716112 Способ отбора материнских деревьев *Betula pendula*, продуцирующих семенное потомство с разной всхожестью и стабильностью генетического материала соматических клеток, по биохимическим параметрам / Т. В. Баранова, О. А. Землянухина, В. Н. Калаев. № 2019115745; заявл. 22.05.2019; опубл. 05.03.2020, Бюл. № 7. – 15 с.
13. Пат. 2681105 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01) Способ отбора материнских растений *Picea pungens* Engelm., продуцирующих семенное потомство с разным уровнем стабильности генетического материала и лучшими морфометрическими показателями / Т. В. Баранова, В. Н. Калаев. № 2018114226; заявл. 17.04.2018; опубл. 04.03.2019, Бюл. № 7. – 17 с.
14. Пат. 2654605 Российская Федерация, МПК А01Н 1/04 (2006.01) А01Н 5/00 (2006.01) Способ оценки по цитогенетическим показателям качества семян *Rhododendron Ledebourii* Pojark / Т. В. Баранова, В. Н. Калаев, Ю. В. Бурменко. № 2016140096; заявл. 11.10.2016; опубл. 21.05.2018, Бюл. № 15. – 16 с.
15. DeLong E. R. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach / E. R. DeLong, D. M. DeLong, D. L. Clarke-Pearson // *Biometrics*. – 1988. – V. 44. – P. 837–845.
16. Буторина А. К. Анализ чувствительности различных критериев цитогенетического мониторинга / А. К. Буторина, В. Н. Калаев // Экология. – 2000. – № 3. – С. 206–210.
17. Калаева Е. А. Теоретические основы и практическое применение математической статистики в биологических исследованиях и образовании: учебник / Е. А. Калаева, В. Г. Артюхов, В. Н. Калаев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. – 282 с.

CYTOGENETIC MARKERS FOR SELECTION MATERNAL TREES OF SCOTS PINE AND WHITE SPRUCE PRODUCING SEED OFFSPRING WITH CERTAIN LEVEL OF GENETIC STABILITY

Kalaev V. N.¹, Ignatova I. V.¹, Kharchenko N. N.², Karpova S. S.³

¹*Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*

²*Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russian Federation*

³*Voronezh State Institute of Physical Culture, Voronezh, Russian Federation*

E-mail: Dr_Huixs@mail.ru

Currently, the depletion of the gene pool of forest woody plants is observed due to the fact that in the course of selective felling, specimens valuable for economic characteristics were destroyed and seeds from the remaining specimens were used, which did not have the best qualities. It was noted that a high level of genetic heterogeneity allows the population to adapt to changing environmental conditions, ensures the stability of the population and is a resource for breeding. The selection of valuable genotypes in the creation of forest seed plantations, which is carried out according to the phenotype, is based on the heterogeneity of populations. Meanwhile, studies show that phenotypically normal trees do not always produce good offspring. The cytogenetic method allows assessing the offspring. With its help, it is possible to distinguish among the seed offspring the mother trees of the group with different levels of stability of the genetic material.

The aim of the work was to identify markers among cytogenetic parameters for the selection of trees producing seed offspring with different stability of the genetic material.

The objects of the study were seedlings of seeds of phenotypically normal Scots pine trees growing in the Khopersky State Nature Reserve (51°10'56.9"N 41°44'17.2"E), and white spruce growing in the Botanical Garden. prof. B.M. Kozo-Polyansky Voronezh State University (51°42'41.57 "N 39°12'17.57"E). The trees had no visible pest damage. The method of preparation and analysis of preparations of seed sprouts is described in the work of Butorina A.K. (2000). In the course of the study, 20 cytogenetic parameters were determined: the mitotic index (counted with and without taking into account cells at the prophase of mitosis), the level of mitotic pathologies (counted with and without taking into account cells at the prophase of mitotic), the proportions of cells at the stages of prophase, metaphase, anaphase, the proportions of cells with 1–10 nucleoli in the nucleus of interphase cells, the proportion of cells with micronuclei, the proportion of cells with residual nucleoli in interphase and mitosis. Statistical processing of the study results was carried out using the STADIA 7.0 and MedCalc 17.5.3 software. The diagnostic value of the indicator is characterized by the area under the ROC-curve: 0.9–1.0 – excellent; 0.8–0.9 – very good; 0.7–0.8 – good, 0.6–0.7 – average, 0.6 and less – unsatisfactory.

Among the cytogenetic indicators, there are those that are suitable for separating the mutable group from the weakly mutable and intermediate, as well as the weakly mutable from the intermediate. In pine, these include the proportion of cells at the prophase stage and the average number of nucleoli in the nucleus, in spruce – the mitotic index without taking into account cells at the prophase stage, the level of mitotic pathologies with and without taking into account cells at the prophase stage and the proportion of cells at the metaphase stage. There are indicators that make it possible to distinguish the mutable group from the weakly mutable and from the intermediate, but are not suitable for separating the weakly mutable group from the intermediate. These include the mitotic index, calculated taking into account cells at the prophase stage in pine, and the proportion of cells at the metaphase and ana-telophase stages in spruce. According to some indicators, it is possible to distinguish the intermediate group from the mutable and the weakly mutable, but it is impossible to distinguish the mutable group from the weakly mutable. In pine, such indicators are the proportion of cells in the metaphase, and in spruce, the proportion of cells with residual nucleoli in the interphase and meta-telophase. Indicators have been identified that make it possible to distinguish only mutable group from weakly mutable (in pine, the proportion of cells at the ana-telophase stage), and weakly mutable group from intermediate (in pine, the mitotic index taking into account cells at the prophase stage, the level of mitotic pathologies with and without taking into account cells at prophase stage, in spruce – mitotic index, taking into account cells at the prophase stage, the proportion of cells with micronuclei).

Keywords: Scots pine, white spruce, cytogenetic predictor, stability of genetic material, cytogenetic parameters.

References

1. Milyutin L. I. *On some problems of preserving the forest genetic resources of Siberia*. Abstracts of the III Intern. meetings «Conservation of genetic resources of Siberian forests» (Krasnoyarsk: KrasGAU, 2011), p. 94.

2. Booy G., Hendriks R. J. J., Smulders M. J. M., Van Groenendael J. M., Vosman B. Genetic diversity and the survival of populations, *Plant biology*, **2**, 379 (2000).
3. Ivetić V., Devetaković J. Concerns and evidence on genetic diversity in planted forests, *Reforesta*, **3**, 196 (2017).
4. *Selection of plus trees and plantations: methodical. instructions* (comp. N.V. Laur, A.P. Tsarev., Petrozavodsk, 2005), p. 36.
5. Vostrikova T. V. The area of using the cytogenetic method in forest genetics and breeding on the example of silver birch, *Forestry*, **1**, 30 (2006).
6. Burmenko Yu. V., Baranova T. V., Kalaev V. N., Sorokopudov V. N. Cytogenetic polymorphism of seed progeny of introduced plants on the example of *Rhododendron ledebourii* Pojark., *Turczaninowia*, **21** (1), 164 (2018).
7. Kalaev V. N., Artyukhov V. G., Popov V. N., Ignatova I. V. Cytogenetic polymorphism of pine seeds in eastern Voronezh region, *Russian Forest Sciences*, **4**, 56 (2010).
8. Kalaev V. N., Popova A. A. Cytogenetic characteristics and morphological parameters of english oak seed progeny oak (*Quercus robur* L.), growing in territories with different levels of anthropogenic pollution, *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, **4**, 63 (2014).
9. Kalaev V. N., Ignatova I. V., Kalaeva E. A. Cytogenetic polymorphism of seed progeny of white spruce trees (*Picea glauca* (Moench) Voss) during the introduction in the Voronezh region, *Turczaninowia*, **23** (3), 185 (2020).
10. Karpova S. S. Influence of anthropogenic pollution on cytogenetic polymorphism of seed progeny of silver birch (*Betula pendula* Roth) in natural and artificial stands: dis. ... cand. biol. sciences. (Voronezh, 2011), p. 149.
11. Karpova S. S., Al-Hachami F. R. H., Kalaev V. N., Ignatova I. V., Slavsky V. A. Cytogenetic polymorphism of walnut trees (*Juglans regia* L.) seed progeny during introduction in the Voronezh region, *Ecology of urbanized territories*, **2**, 21 (2020).
12. Baranova T. V., Zemlyanukhina O. A., Kalaev V. N. Pat. No. 2716112 Method for selection of *Betula pendula* maternal trees producing seed offspring with different germination and stability of the genetic material of somatic cells, according to biochemical parameters, No. 2019115745; declared 05/22/2019; publ. 05.03.2020, Bul. No. 7. p. 15.
13. Baranova T. V., Kalaev V. N. Pat. 2681105 Russian Federation, IPC A01H 1/04 (2006.01) Method for selection of mother plants *Picea pungens* Engelm. Producing seed offspring with different levels of stability of genetic material and better morphometric parameters, No. 2018114226; declared 04/17/2018; publ. 04.03.2019, Bul. No. 7. p. 17.
14. Baranova T. V., Kalaev V. N., Burmenko Yu. V. Pat. 2654605 Russian Federation, IPC A01H 1/04 (2006.01) A01H 5/00 (2006.01) Method for assessing the quality of seeds of *Rhododendron Ledebourii* Pojark by cytogenetic parameters, No. 2016140096; declared 10/11/2016; publ. 05/21/2018, Bul. No. 15. p. 16.
15. DeLong E. R. DeLong D. M., Clarke-Pearson D. L. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach, *Biometrics*, **44**, 837 (1988).
16. Butorina A. K., Kalaev V. N. Analysis of sensitivity of different criteria in cytogenetic monitoring, *Russian Journal of Ecology*, **31** (3), 186 (2000).
17. Kalaeva E. A. Artyukhov V. G., Kalaev V. N. Theoretical foundations and practical application of mathematical statistics in biological research and education: textbook (Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2016), p. 282.

УДК 630*165.4: 634.511:631.529

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-68-86

**ВАРИАбельНОСТЬ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ОРЕХА ГРЕЦКОГО (*JUGLANS REGIA* L.) ПРИ
ИНТРОДУКЦИИ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Калаев В. Н.¹, Карпова С. С.², Аль-Хачами Ф. Р. Х.¹, Игнатова И. В.¹, Славский В. А.³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный институт физической культуры», Воронеж, Россия

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

E-mail: karpovass@mail.ru

В статье обсуждаются результаты цитогенетических исследований ореха грецкого (*Juglans regia* L.), являющегося интродуцентом на территории Воронежской области. По восемнадцати изученным цитогенетическим показателям в корневой меристеме проростков семян выявлено наличие трех полиморфных групп проростков – мутабельной, слабомутабельной и промежуточной. Небольшая доля проростков с высоким уровнем цитогенетических аномалий (7,5 %) и преобладание проростков со средними (70 %) и низкими (22,5 %) значениями патологических митозов свидетельствует о высокой степени адаптации материнских деревьев ореха грецкого к экологическим условиям Воронежской области. С помощью методов ROC-анализа установлены предикторы для отнесения любого проростка к мутабельной или слабомутабельной группе. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования системы семеноводства и селекции новых форм ореха грецкого.

Ключевые слова: цитогенетические характеристики, орех грецкий, митотическая активность, патологические митозы, ядрышковые характеристики, интродукция.

ВВЕДЕНИЕ

Орех грецкий (*Juglans regia* L.) по праву занимает ведущее место среди орехоплодных культур в России по потреблению, однако продукция, поступающая на российский рынок, имеет преимущественно зарубежное происхождение. Родина грецкого ореха – территория Средней и Малой Азии. Этот вид относят к теплолюбивым породам, которые хорошо растут и плодоносят в условиях мягкого теплого климата с постепенной сменой сезонов года, поэтому современный ареал дикого и культурного произрастания грецкого ореха составляют территории Китая и Индии, Средней Азии, южная и центральная части Европы, Северный Кавказ, Закавказье, Узбекистан и Молдавия. Территории России располагает достаточным количеством площадей, пригодных для разведения данной культуры, но сама отрасль ореховодства развита слабо. В связи с этим перед селекционерами стоят задачи в

подробном и всестороннем изучении ореха грецкого, выделении наиболее ценных форм и разведения устойчивых растений с плодами высокого качества [1–3].

В последние десятилетия проведено немало исследований биологических и экологических показателей ореха грецкого в условиях интродукции в различных странах и в России. В научной литературе отмечается, что орех грецкий успешно произрастает и стабильно плодоносит на территории Центрального Черноземья [4–8], однако его биологические особенности в условиях интродукции еще не достаточно изучены. Современные представления об уровне адаптации интродуцированных растений должны базироваться на оценке цитологических основ наследственности семенного потомства. Это позволит выявить уровень стабильности генетической системы растений, произрастающих вне привычных для данного вида условий обитания [9, 10]. Цитогенетические методы также используются для выявления полиморфизма в природных популяциях, который может носить адаптивный характер и отражать степень приспособленности растений к условиям обитания [11, 12].

Ранее проводилось изучение variability цитогенетических характеристик у семенного потомства лиственных лесообразующих пород Центрального Черноземья – дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) [13–18]. Было показано, что на изменения цитогенетических показателей и семенного потомства данных видов растений оказывают влияние условия произрастания материнских деревьев. В неблагоприятных условиях происходит изменение уровня митотической активности (усиление или депрессия), возрастает количество и расширяется спектр патологических митозов, изменяется синтетическая активность ядрышек. У семенного потомства указанных аборигенных видов древесных растений выявлен цитогенетический полиморфизм, заключающийся в существовании нескольких групп проростков, различающихся по степени стабильности генетического материала (мутабильная, слабомутабильная и одна или несколько промежуточных групп). Для дуба черешчатого было установлено, что проростки из группы с высоким уровнем цитогенетических нарушений и низкой ядрышковой активностью обладали худшими ростовыми показателями [15]. Подобные исследования были проведены и для рододендрона Ледебурра (*Rhododendron ledebourii* Rojark.), являющегося интродуцентом Центрального Черноземья [19].

В связи с изложенным выше **целью** нашего исследования явилось выявление variability цитогенетических показателей семенного потомства деревьев ореха грецкого, длительное время произрастающих в условиях Воронежской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения эксперимента были отобраны 4 фенотипически нормальных, без повреждения вредителями и грибными заболеваниями дерева ореха грецкого семенного происхождения в возрасте 33–35 лет (высота 11–12 м, диаметр ствола (см) на высоте 1,3 м – 36, 40, 40, 24 (у последнего дерева ветвление начинается на высоте 1 м, где диаметр ствола составил 48 см), диаметр кроны – 4–5 м), произрастающие на частных приусадебных подворьях в г. Воронеже (51° 42' 44" северной широты; 39° 12' 3" (39° 13' 52") восточной долготы, высота над уровнем моря – 156 м). Почва в месте произрастания – обыкновенный чернозем, глубина

залегания грунтовых вод – 8,5–9 м. Маточное дерево этой формы произрастает в Звенигорском районе Киевской области (Украина). Они расположены на небольшом склоне, в верхней его части и защищены постройками.

Плоды ореха урожая 2017 г. в количестве 200 штук были поставлены на проращивание во влажном песке при температуре 16–18 °С, без проведения стратификации в 9 ч утра. Фиксацию проростков и изготовление микропрепаратов проводили по общепринятой методике [16]. Было просмотрено на микроскопе Laboval-4 (Carl Zeiss, Jena) 40 микропрепаратов (1 проросток – 1 микропрепарат). На каждом препарате учитывали общее количество просмотренных клеток (не менее 700) и клеток на различных стадиях митоза, количество и типы нарушений митотического деления (в соответствии с классификацией Алова [20]), количество клеток с остаточным ядрышком на стадии метафазы, анафазы, телофазы. На основании полученных данных вычисляли митотический индекс, долю патологических митозов, долю каждого типа нарушений клеточного деления и долю клеток с остаточными ядрышками на стадиях метафазы – анафазы митоза (%).

Для изучения ядрышковых характеристик в клетках корневой меристемы семенного потомства ореха грецкого производили измерение диаметра ядрышек с помощью насадки-микрометра (анализировали по 200 клеток на каждом микропрепарате) и высчитывали площадь поверхности ядрышек (мкм^2); учитывали количество клеток с разным числом ядрышек и вычисляли их долю (%); определяли долю (%) ядрышек различных типов по классификации, предложенной Челидзе и Зацепиной [21].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета статистических программ Stadia 7.0 Professional (InCo, Россия). Процедура группировки данных и их обработки изложена в работе Калаевой с соавт. [22]. Цитогенетические характеристики проростков ореха грецкого сравнивали по следующим критериям: частоты встречаемости клеток с остаточными ядрышками и патологиями митоза – по непараметрическому X-критерию рангов Ван-дер-Вардена, митотический индекс, долю клеток по стадиям митоза и ядрышковые характеристики – по параметрическому t-критерию Стьюдента. Сравнение долей различных типов патологий митоза проводили с использованием Z-аппроксимации для критерия равенства частот. Для определения корреляционных зависимостей использовали коэффициент корреляции рангов Спирмена (r_s). Коэффициент вариации (C_v) считали согласно рекомендациям Лакина [23]. Низким считали C_v , значение которого не превышало 10 %, средним – 10–25 %, высоким – более 25 %.

Кластерный анализ проводили с использованием метрики нормированный Эвклид, стратегия группировки – группового соседа. В матрицу данных вносили все изученные цитогенетические показатели. Правильность классификации проростков и отнесения их в ту или иную группу была подтверждена результатами дискриминантного анализа с использованием критерия Махаланобиса.

Для определения предикторов отнесения проростков к мутабельной или слабомутабельной группе использовали метод ROC-анализа [24] в программе для статистического анализа биомедицинских исследований MedCalc 17.5.3. (MedCalc Software, Ostend, Belgium). Прогностические свойства цитогенетических показателей

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ...

оценивали по следующим параметрам: AUC (area under curve) – площадь под кривой (0,9–1,0 – отличная диагностическая ценность показателя, 0,8–0,9 – очень хорошая, 0,7–0,8 – хорошая, 0,6–0,7 – средняя, 0,6 и менее – неудовлетворительная); чувствительность и специфичность теста; критические значения («точки отсечения», «cut-off point») показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средние значения цитогенетических показателей семенного потомства ореха грецкого представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Цитогенетические характеристики семенного потомства деревьев ореха грецкого, произрастающих в условиях Воронежской области

Цитогенетические показатели	Среднее значение	Пределы варьирования (95 %-ный доверительный интервал)	Коэффициент вариации (Cv), %
1	2	3	4
Митотический индекс, %	5,8±0,4	от 5,0 до 6,5	39,7
Митотический индекс без учета клеток на стадии профазы, %	3,8±0,3	от 3,2 до 4,3	44,7
Доля клеток на стадии профазы, %	34,5±2,5	от 29,6 до 39,6	45,7
Доля клеток на стадии метафазы, %	18,1±1,4	от 15,4 до 20,9	47,5
Доля клеток на стадии анафазы-телофазы, %	47,4±1,9	от 44,0 до 51,5	24,7
Уровень патологий митоза, %	6,0±0,8	от 4,4 до 7,6	83,3
Уровень патологий митоза без учета клеток на стадии профазы, %	9,1±1,1	от 6,9 до 11,3	78,0
Частота встречаемости остаточных ядрышек в митозе, %	0,6±0,2	от 0,2 до 1,0	87,8
Частота встречаемости клеток с двумя и более ядрышками в ядре, %	2,3±0,2	от 1,9 до 2,7	59,0
Частота встречаемости ядрышек типа «кора-сердцевина», %	66,7±3,0	от 60,7 до 72,3	62,5
Частота встречаемости ядрышек типа «кора-сердцевина» с вакуолью, %	30,2±3,0	от 24,3 до 36,1	29,0
Частота встречаемости вакуолизированных ядрышек, %	0,2±0,1	от 0 до 0,4	373,7
Частота встречаемости компактных ядрышек, %	3,0±1,2	от 0,6 до 5,4	254,2

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Площадь поверхности ядрышек в клетках с 1 ядрышком в ядре, мкм ²	85,5±2,0	от 81,7 до 89,4	14,5
Площади поверхности ядрышек типа «кора-сердцевина», мкм ²	81,1±1,7	от 77,8 до 84,3	18,8
Площади поверхности ядрышек типа «кора-сердцевина» с вакуолью, мкм ²	101,7±3,0	от 95,8 до 107,6	13,1
Площади поверхности вакуолизированных ядрышек, мкм ²	74,6±2,5	от 73,1 до 76,2	6,7
Площади поверхности компактных ядрышек, мкм ²	36,6±3,1	от 32,8 до 40,4	33,6

Нами было показано, что в целом по средним значениям всех изученных цитогенетических критериев, показатели семенного потомства ореха грецкого сопоставимы с таковыми как у аборигенных видов лиственных древесных растений (дуб черешчатый, береза повислая), так и других лиственных интродуцентов (различные виды рододендронов, катальпы), длительное время произрастающих в условиях Воронежской области [11–19, 25]. Это свидетельствует о высоком уровне адаптации ореха грецкого к новым для данного вида условиям произрастания.

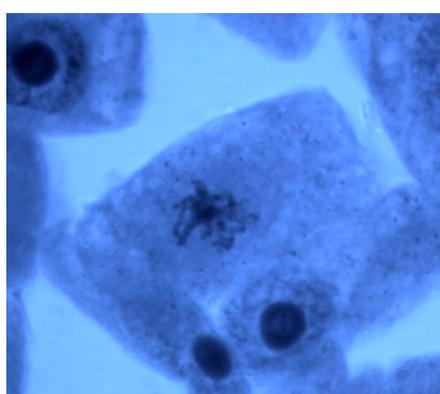
Распределение клеток по стадиям митоза в корневой меристеме проростков ореха грецкого отражает продолжительность разных стадий митоза в нормальных физиологических условиях: наибольшие значения отмечались у показателей «доля клеток на стадии профазы» и «доля клеток на стадии анафазы-телофазы митоза», т.е. на стадиях, связанных с процессами синтеза.

Типичными нарушениями митоза у ореха грецкого (табл. 2) являлись отставания хромосом в метакинезе и анафазе митоза, мосты в ана- и телофазе, а также агглютинации хромосом в метафазе. К числу редких патологий (1,6 %) относятся многополюсный и асимметричный митозы. У ореха грецкого не было выявлено каких-либо нарушений митоза, которые не встречались бы у других ранее изученных лиственных растений, произрастающих на территории Воронежской области. Фотографии некоторых патологий митоза представлены на рис. 1.

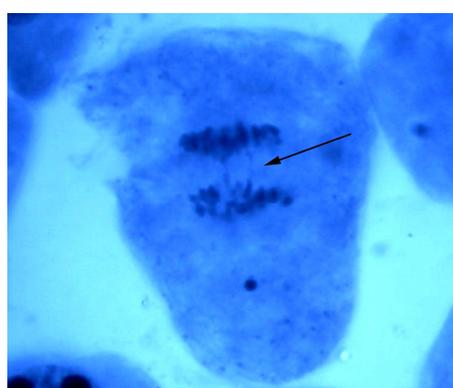
В меристеме проростков ореха грецкого обнаружено явление присутствия остаточного ядрышка на стадии метафазы, анафазы, телофазы (рис. 2). Остаточные ядрышки наблюдались в виде округлых образований по одну из сторон метафазной пластинки, отдельно от нее, либо соединенные с ней. В анафазе и телофазе остаточные ядрышки, как правило, оттесняются к одному из полюсов клетки. Появление остаточных ядрышек в делящихся клетках, вероятно, обусловлено компенсаторным синтезом белка, необходимым для поддержания нормального прохождения митоза [19]. Необходимо отметить, что данное функциональное нарушение – довольно редкое явление в клетках ореха грецкого по сравнению с другими изученными видами лиственных, что подтверждает предположение о стабильности протекания процессов клеточного деления в новых для вида природных условиях.

Таблица 2.
Спектр патологических митозов в корневой меристеме проростков ореха грецкого при интродукции на территории Воронежской области

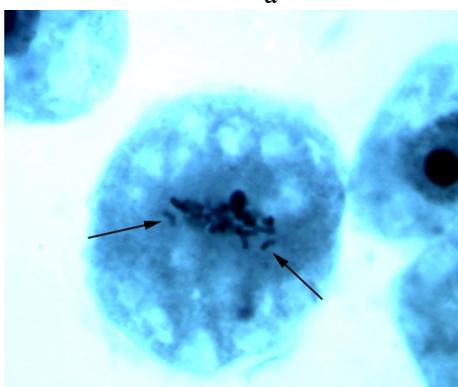
Тип патологий	Частота встречаемости патологии, %	Пределы варьирования (95 %-ный доверительный интервал)
Отставание хромосом в метакинезе	37,2±4,1	от 29,2 до 46
Мост	29,5±3,9	от 22,1 до 38,0
Отставание хромосом в анафазе	21,7±3,5	от 15,3 до 29,7
Агглютинация	10,1±2,6	от 5,9 до 16,6
Редкие патологии	1,6±1,1	от 0,4 до 5,5



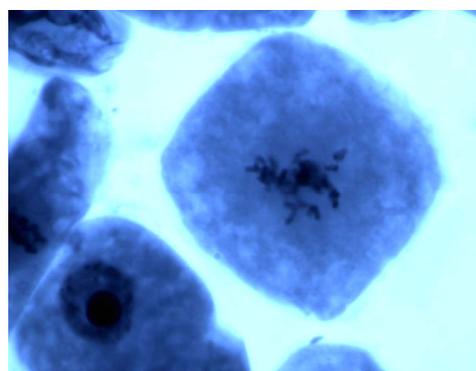
а



б



в



г

Рис. 1. Некоторые типы патологических митозов в клетках корневой меристемы проростков ореха грецкого (а – агглютинация хромосом в метафазе; б – мосты в анафазе; в – отставание хромосом в метакинезе; г – многополюсный митоз). Увеличение 100x1,5x10.

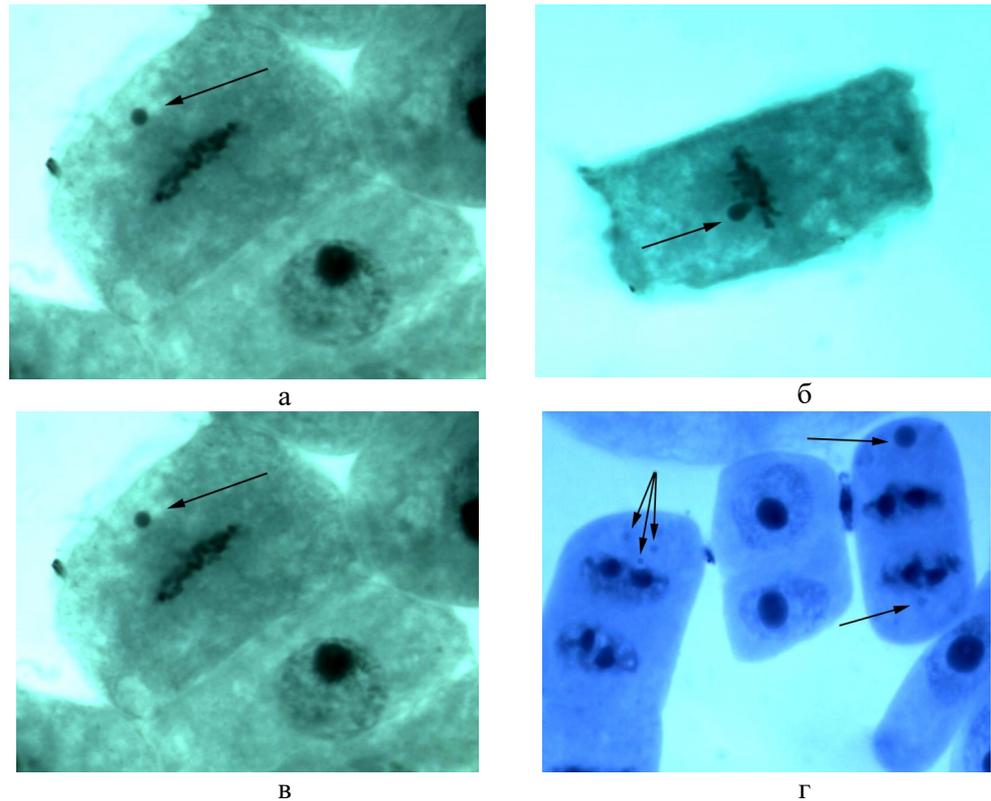


Рис. 2. Остаточные ядрышки на стадии метафазы (а, б), анафазы (в) и телофазы (г) митоза в клетках корневой меристемы деревьев ореха грецкого, произрастающих в условиях Воронежской области. Увеличение 100х1,5х10.

В меристеме проростков семян ореха грецкого отмечается высокая пластичность ядрышковых характеристик, проявляющаяся в изменении размеров, морфологии и количества ядрышек в ядре (табл. 1), что рассматривается рядом авторов в качестве главного признака при адаптации к неблагоприятным факторам среды [13, 21].

В интерфазных клетках проростков ореха грецкого наблюдались такие же типы ядрышек, как и у аборигенных видов древесных (дуб черешчатый, береза повислая). Фотографии обнаруженных в клетках ядрышек представлены на рис. 3.

Учитывая тот факт, что многие цитогенетические показатели семенного потомства ореха грецкого отличаются средними и высокими значениями коэффициента вариации (табл. 1), нами был проведен кластерный анализ данных, который позволил выявить наличие трех групп проростков.

Дендрограмма кластерных расстояний по изученным цитогенетическим характеристикам приведена на рис. 4. Дискриминантный анализ подтвердил правильность отнесения проростков к выделенным группам ($P < 0,01$).

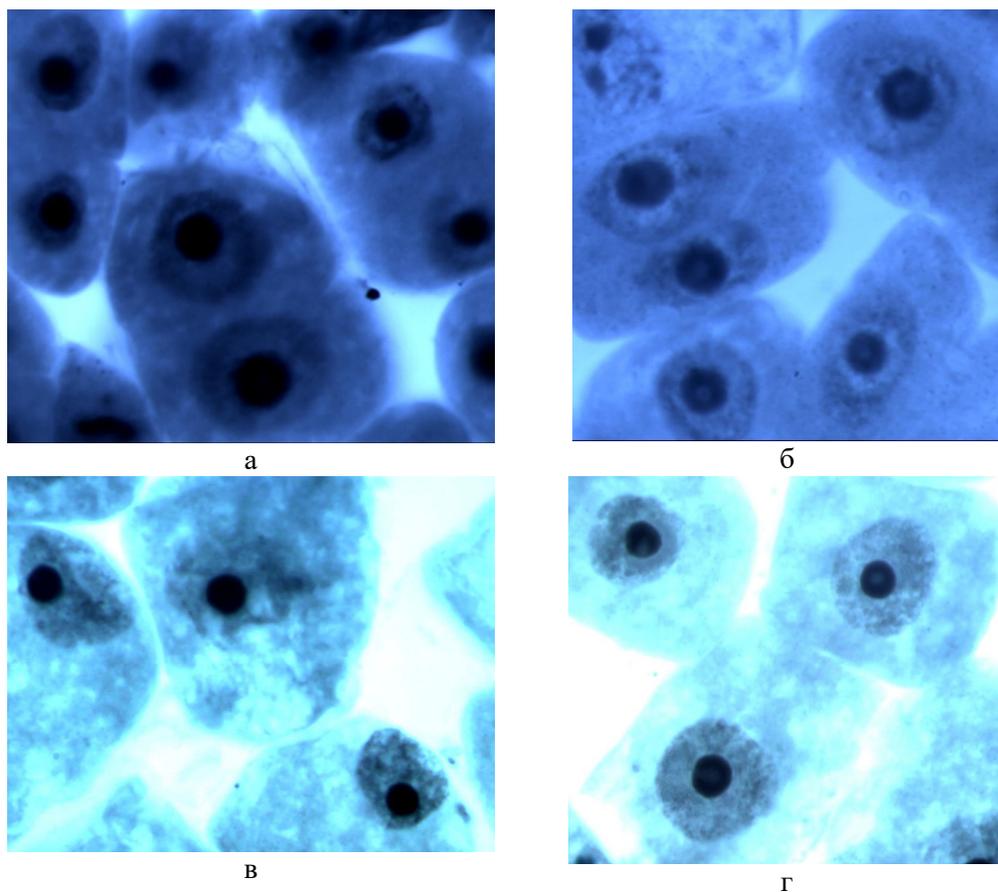


Рис. 3. Ядрышки различных типов в клетках корневой меристемы проростков ореха грецкого при интродукции в Воронежской области (а – «кора-сердцевина», б – «кора-сердцевина» с вакуолью, в – компактные, г – вакуолизированные). Увеличение $100 \times 1,5 \times 10$.

Цитогенетические показатели семенного потомства ореха грецкого в выделенных группах проростков представлены в таблице 3.

Основным критерием выделения указанных групп явился уровень патологических митозов, который зачастую обуславливает возникновение клеток с несбалансированными кариотипами, т.е. приводят к развитию мутаций и анеуплоидий. Поэтому, группу с высоким уровнем патологических митозов ($13,7 \pm 3,6\%$) возможно считать «мутабильной», а группу с минимальным уровнем аномальных митозов ($1,3 \pm 0,4\%$) – «слабомутабельной».

Одной из особенностей группы проростков с высоким уровнем цитогенетической нестабильности является низкий показатель митотической активности, при этом, как видно из таблицы 3, все выделенные группы проростков не различались между собой по показателю «митотический индекс без учета профазных клеток». Таким образом,

снижение количества делящихся клеток в мутабельной группе проростков происходит за счет сокращения доли профаз. Ускоренное прохождение стадии профазы в этой группе проростков по сравнению с двумя другими позволяет выдвинуть предположение об имеющихся на этой стадии нарушениях процессов формирования веретена деления и/или процесса компактизации хромосом. Оба этих процесса и приводят к появлению высокого числа патологических митозов с преобладанием в спектре отстающих хромосом (86,6 %) (рис. 5).

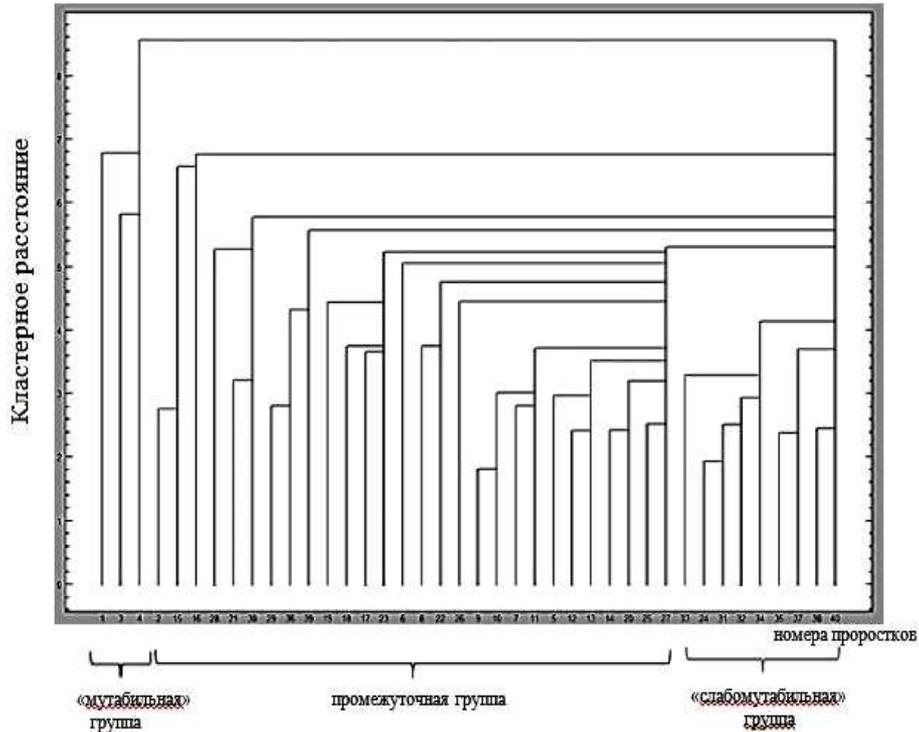


Рис. 4. Дендрограмма кластерных расстояний по цитогенетическим характеристикам между проростками семенного потомства деревьев ореха грецкого, произрастающих в Воронежской области.

В этой группе проростков обнаружены наибольшие количества клеток с остаточными ядрышками в митозе, что, возможно, свидетельствует об усилении активности рибосомальных генов в клетках меристемы в условиях недостаточного функционирования ядрышкового аппарата в интерфазе. Высокие показатели указанного критерия были обнаружены также при изучении полиморфизма по цитогенетическим показателям у проростков другого интродуцента – рододендрона Ледебура, относящихся к мутабельной группе. Данный феномен рассматривается как частый случай усиления ядрышковой активности и является адаптационным механизмом, обеспечивающим приспособление организма к неблагоприятным условиям среды [19, 26].

Таблица 3.

Цитогенетические характеристики различных по мутабельности групп проростков ореха грецкого при интродукции на территории Воронежской области

Цитогенетические показатели	Мутабельная	Промежуточная	Слабо-мутабельная
Количество проростков в группе, шт.	3	28	9
Митотический индекс, %	3,7±0,9 ^{a, б}	5,7±0,4	6,7±0,7
Митотический индекс без учета профазных клеток, %	3,0±0,8	4,0±0,3	3,3±0,5
Доля клеток на стадии профазы, %	19,1±2,9 ^{a, б}	31,1±2,6	50,5±3,8 ^б
Доля клеток на стадии метафазы, %	35,9±6,0 ^{a, б}	17,8±1,2	13,3±2,1
Доля клеток на стадии анафазы-телофазы, %	45,0±6,8	51,8±1,9	36,2±3,1 ^б
Уровень патологических митозов, %	13,7±3,6 ^{a, б}	6,7±0,8	1,3±0,4 ^б
Уровень патологических митозов без учета профазных клеток, %	17,3±5,0 ^{a, б}	10,2±1,2	3,0±1,0 ^б
Частота встречаемости клеток с остаточными ядрышками, %	0,9 ±0,9	0,7±0,3	0,3±0,3
Площадь поверхности ядрышек, мкм ²			
Площадь поверхности ядрышек в клетках с 1 ядрышком в ядре, мкм ²	77,6 ±4,9 ^б	88,4±2,4	78,9±2,8 ^б
Площади поверхности ядрышек типа «кора-сердцевина» с вакуолью, мкм ²	97,2±12,2	107,6±3,6	88,9±3,4 ^б
Площади поверхности ядрышек типа «кора-сердцевина», мкм ²	77,5±3,0	83,3±2,1	75,2±2,5 ^б
Площади поверхности вакуолизированных ядрышек, мкм ²	73,3±3,0	-	-
Площади поверхности компактных ядрышек, мкм ²	47,6±4,0	15,8±3,6	-
Доля ядрышек, %			
Частота встречаемости ядрышек типа «кора-сердцевина» с вакуолью, %	28,8±4,4	30,1±4,0	30,9±4,7
Частота встречаемости ядрышек типа «кора-сердцевина», %	45,9±3,9 ^{a, б}	68,1±3,7	69,1±4,7
Частота встречаемости вакуолизированных ядрышек, %	2,4±0,7	-	-
Частота встречаемости компактных ядрышек, %	22,9±10,0 ^б	1,8±0,7	-
Доля интерфазных клеток, имеющих клетки с 2 ядрышками в ядре, %	2,2±0,4 ^a	2,0±0,2	3,1±0,5 ^б

Примечания: ^a различия со слабомутабельной группой достоверны (P<0,05);

^б различия с промежуточной группой достоверны (P<0,05).

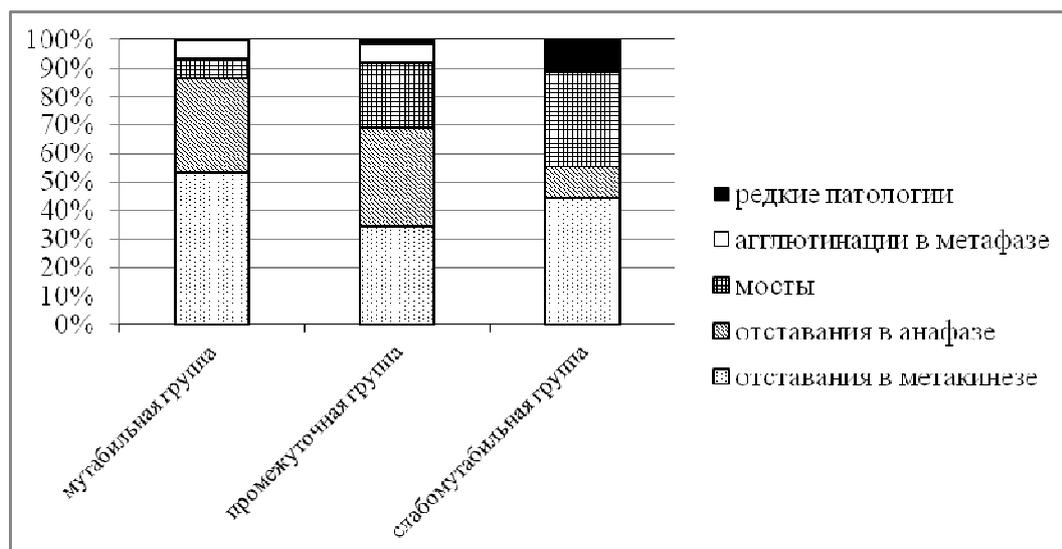


Рис. 5. Спектр патологических митозов в различных по мутабельности группах проростков ореха грецкого.

В мутабельной группе проростков имеется весь спектр описанных для проростков ореха грецкого типов ядрышек. Только в этой группе проростков встречались вакуолизированные ядрышки с низким уровнем синтетической активности, а доля высокоактивных ядрышек типа кора-сердцевина имела наименьшие по сравнению с другими группами значения. Это, по-видимому, свидетельствует о недостаточном уровне ядрышковой активности в интерфазных клетках. Поэтому расширение спектра типов ядрышек в данной группе за счет увеличения доли компактных ядрышек с максимальной синтетической активностью можно рассматривать в качестве компенсаторного механизма, восполняющего недостаточную метаболическую активность в меристеме данной группы проростков.

В слабомутабельной группе проростков отмечается повышенное количество клеток на стадии профазы, что, по-видимому, связано с прохождением точек чекпойнт-репарации, приводящих к сокращению доли аномальных клеточных делений [14]. Кроме того, увеличение числа делящихся клеток в данной группе проростков можно рассматривать как компенсаторный механизм, обеспечивающий большую устойчивость проростков, так как именно объем меристем определяет качественные и количественные характеристики развития целого организма [27].

В группе проростков с низким уровнем цитогенетических нарушений отмечается отрицательная корреляционная связь между частотой встречаемости патологических митозов и частотой встречаемости клеток с остаточными ядрышками на стадии метафазы-телофазы митоза ($r_s = -0,36$, $P < 0,05$). Она свидетельствует о компенсаторной роли остаточных ядрышек в митозе, которая заключается в поддержании синтеза необходимых клетке белков в стрессовых

условиях (условиях интродукции) и тем самым, возможно, ведет к снижению частоты встречаемости патологий митоза.

Как показывает анализ рисунка 5, в спектре патологических митозов в слабомутабельной группе проростков увеличена доля мостов, по сравнению с другими группами, что свидетельствует об усилении репаративных процессов в этой группе проростков [28].

Для данной группы проростков характерно отсутствие компактных и вакуолизированных ядрышек в интерфазных клетках, однако количество клеток с двумя ядрышками в ядре максимально по сравнению с другими группами проростков. Наибольшие доли интерфазных клеток с двумя и более ядрышками в ядре при изучении цитогенетического полиморфизма отмечались также в слабомутабельной группе проростков деревьев березы повислой, произрастающих в естественных и искусственных древостоях Центрального Черноземья. Увеличение числа двуядрышковых и многоядрышковых интерфазных клеток отражает механизмы поддержания синтетической активности на стабильном уровне в меристеме проростков слабомутабельной группы [17].

Необходимо также отметить, что мутабельная группа составила всего 7,5 % от общего количества проанализированных проростков. На долю слабомутабельной группы пришлось 22,5 %. Промежуточная группа включала 70 % от всех изученных проростков и характеризовалась переходными между слабомутабельной и мутабельной группами проростков значениями цитогенетических показателей (табл. 3). Полученные данные о размерах выделенных групп свидетельствует о высокой степени адаптации материнских деревьев ореха грецкого к природно-климатическим условиям Воронежской области при интродукции, что позволяет им продуцировать семенное потомство с низким уровнем повреждений генетического материала.

Нами был проведен ROC-анализ цитогенетических показателей семенного потомства ореха грецкого с целью выявления критических значений (точек отсечения значений изучаемых показателей), позволяющих определять принадлежность любого исследованного проростка к одной из выделенных модельных (мутабельной и слабомутабельной) групп проростков. В качестве предикторов к мутабельной или слабомутабельной группы были использованы цитогенетические критерии, для которых диагностическая ценность была подтверждена, показавшие диагностическую способность в обеих выделенных группах проростков. Такими предикторами можно считать доли клеток на стадии профазы и метафазы, уровень патологических митозов (как с учетом, так и без учета профазных клеток), частоты встречаемости интерфазных клеток с компактными и вакуолизированными ядрышками. ROC-кривые предикторов отнесения представлены на рис. 6, 7. Как видно из анализа рисунков, практически все указанные цитогенетические показатели проявили себя как предикторы с хорошей и отличной диагностической ценностью показателя при высоких значениях чувствительности и специфичности каждого критерия.

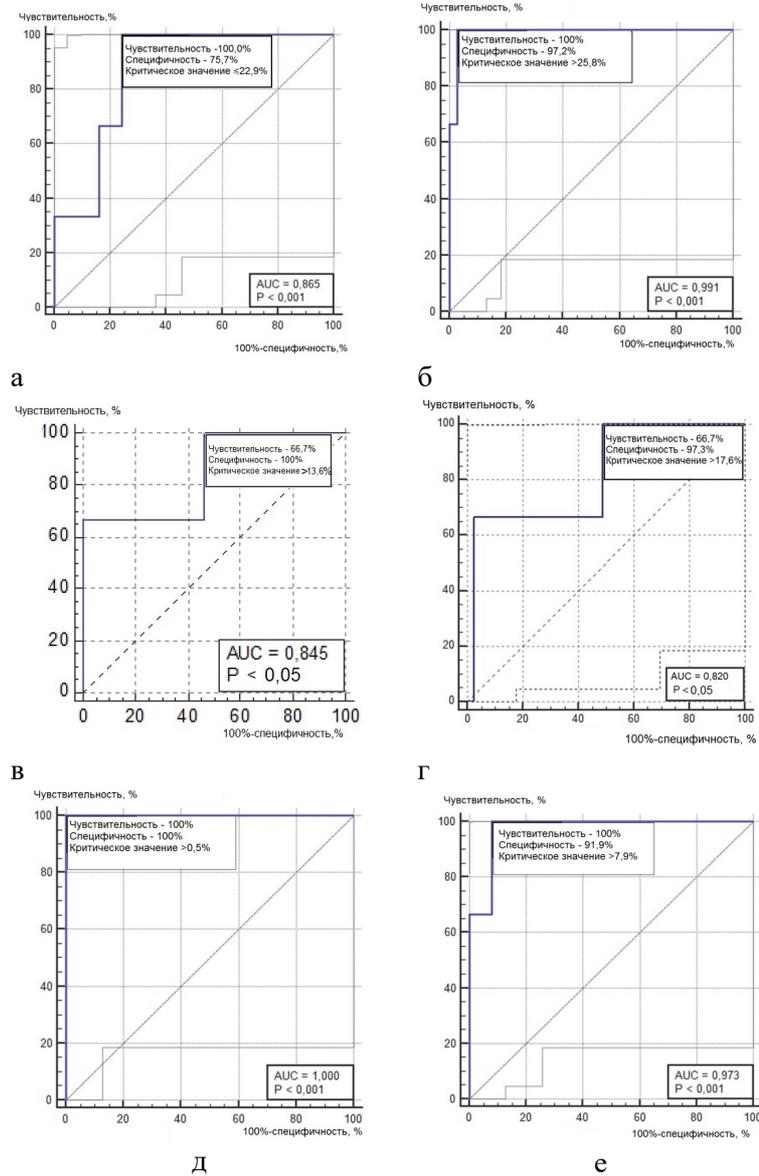


Рис. 6. ROC-кривые предикторов отнесения проростков к мутабельной группе проростков: а – для показателя «доля клеток на стадии профазы, %»; б – для показателя «доля клеток на стадии метафазы, %»; в – для показателя «уровень патологических митозов с учетом профаз, %»; г – для показателя «уровень патологических митозов без учета профаз, %»; д – для показателя «частота встречаемости вакуолизированных ядрышек, %»; е – для показателя «частота встречаемости компактных ядрышек, %».

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ...

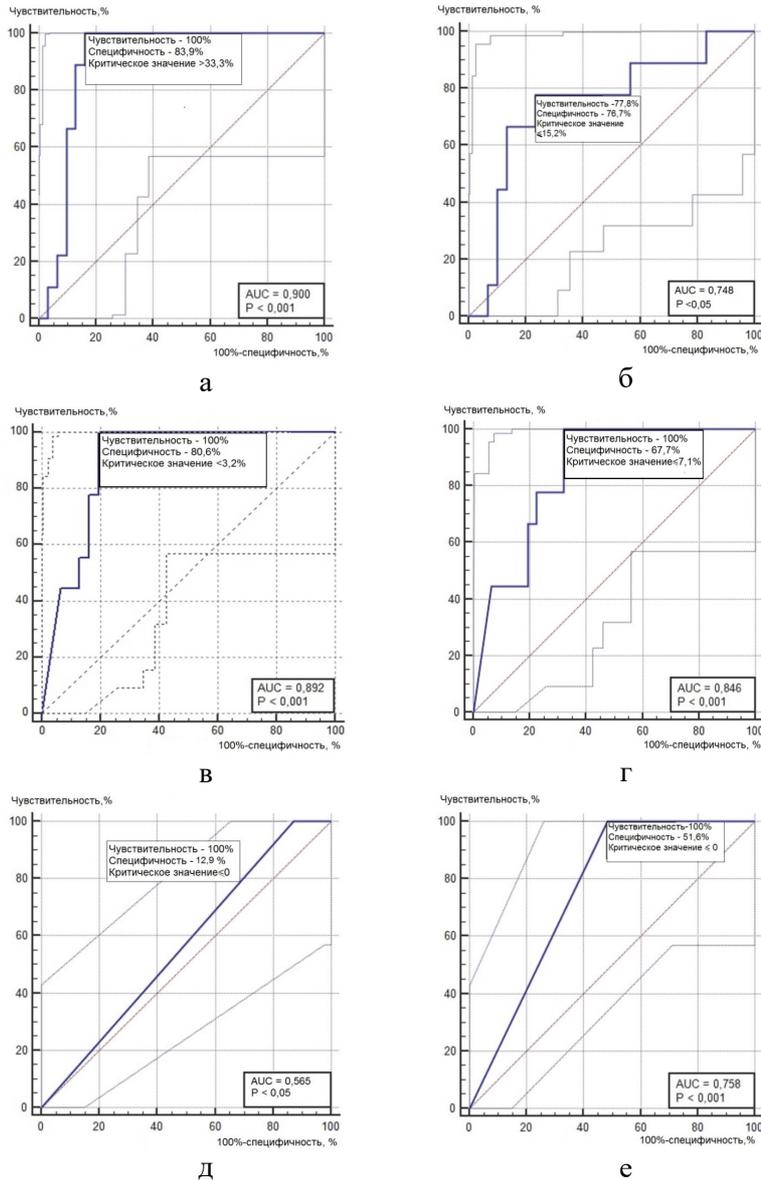


Рис. 7. ROC-кривые предикторов отнесения проростков к слабомутабильной группе проростков: а – для показателя «доля клеток на стадии профазы, %»; б – для показателя «доля клеток на стадии метафазы, %»; в – для показателя «уровень патологических митозов с учетом профаз, %»; г – для показателя «уровень патологических митозов без учета профаз, %»; д – для показателя «частота встречаемости вакуолизованных ядрышек, %»; е – для показателя «частота встречаемости компактных ядрышек, %».

Опираясь на данные ROC-анализа, можно определить параметры состояния цитогенетического аппарата проростков ореха грецкого, по которым их можно отнести к одной из выделенных групп – мутабельной или слабомутабельной с максимальной вероятностью. Значения цитогенетических показателей (дискриминаторов) для каждой из групп представлены в табл. 4. Так, к мутабельной группе проростков можно будет отнести такие, у которых в корневой меристеме будет выявлено менее 22,9 % профазных клеток и превышение по остальным представленным в таблице 4 показателям. К слабомутабельной группе, наоборот, можно будет отнести проростки, не имеющие в интерфазных ядрах компактных и вакуолизированных типов ядрышек, с низким уровнем патологий митоза, повышенной долей профаз в митозе (более 33,3 %) и низкой долей метафаз (менее 15,2 %). Определение значений указанных предикторов позволит существенно снизить трудозатраты цитологов при определении качества продуцируемого семенного потомства материнскими деревьями ореха грецкого, произрастающих в новых для данного вида экологических условиях. В то же время, определение качественного и количественного полиморфизма семенного потомства может свидетельствовать о степени адаптации материнских деревьев к условиям интродукции.

Таблица 4
Значения цитогенетических показателей – дискриминаторов отнесения проростков к мутабельной или слабомутабельной группе (%)

Показатели	Мутабельная группа проростков	Слабомутабельная группа проростков
Доля клеток на стадии профазы	$\leq 22,9$	$> 33,3$
Доля клеток на стадии метафазы	$> 25,8$	$\leq 15,2$
Уровень патологических митозов с учетом профаз	$> 13,6$	$\leq 3,2$
Уровень патологических митозов без учета профаз	$> 17,7$	$\leq 7,1$
Частота встречаемости вакуолизированных ядрышек	$> 0,5$	≤ 0
Частота встречаемости компактных ядрышек	$> 7,9$	≤ 0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, опираясь на описанные выше цитогенетические показатели проростков ореха грецкого, можно сделать вывод о преимущественно стабильном протекании митоза, что свидетельствует о высокой степени адаптации материнских деревьев интродуцента – ореха грецкого к экологическим условиям Воронежской области. Полученные данные о качественном и количественном полиморфизме цитогенетических характеристик, а также определение цитогенетических критериев

принадлежности проростков к выделенным полиморфным группам, могут быть использованы для разработки рекомендаций по отбору мутабельного и слабомутабельного семенного потомства для лесной селекции.

Список литературы

1. Биганова С. Г. Современные тенденции селекции ореха грецкого в России / С. Г. Биганова, Ю. И. Сухоруких, А. П. Луговской // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. – С. 531.
2. Ибрагимов З. А. Генетические центры происхождения *Juglans regia* и мировое производство орехов / З. А. Ибрагимов // Аграрная наука. – 2010. – № 7. – С. 17–20.
3. Корниенко П. С. Перспективы выращивания ореха грецкого в Республике Крым и России / П. С. Корниенко, Д. В. Потанин // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XLII междунар. науч.-практ. конф. № 1(35). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 77–92.
4. Васин Е. А. Отбор и оценка перспективных форм ореха грецкого для средней полосы России: автореф. дис. ... канд. с-х. наук / Е. А. Васин. – СПб, 2004. – 20 с.
5. Вересин М. М. Селекция ореха грецкого на зимостойкость методом отбора и гибридизации / М. М. Вересин, М. К. Улюкина // Лесная генетика, селекция и семеноводство. – Петрозаводск, 1970. – С. 365–369.
6. Николаев Е. А. Интродукция и селекция ореха грецкого в Воронежской области / Е. А. Николаев, В. А. Славский, В. В. Тищенко. – Воронеж: изд-во ВГУ, 2007. – 152 с.
7. Помогайбин А. В. Эколого-биологический анализ результатов интродукционных испытаний видов рода орех (*Juglans L.*) в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. В. Помогайбин. – Тольятти, 2008. – 16 с.
8. Славский В. А. Районирование ореха грецкого в Воронежской области по зонам устойчивости к неблагоприятным факторам / В. А. Славский, Д. А. Тимашук, А. В. Мироненко // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 143–150.
9. Буторина А. К. Способ предварительной генетической оценки отобранных плюсовых деревьев для создания клоновых и семенных плантаций / А. К. Буторина // Лесохозяйственная информация, рекомендуемая для внедрения. – М.: ВНИИЦ Лесресурс, 1989. – Вып. 8. – С. 8–12.
10. Zoldos V. Cytogenetic damages as an indicator of pedunculate oak forest decline / V. Zoldos, V. Besendorfer, S. Jelenic [et al.] // Cytogenetic studies of forest trees and shrub species. – Zagreb, 1997. – P. 275–284.
11. Калаев В. Н. Цитогенетический полиморфизм проростков семян деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) на территориях с разным уровнем антропогенного загрязнения / В. Н. Калаев, А. А. Попова // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 2. – С. 176–190.
12. Карпова С. С. Цитогенетическая изменчивость семенного потомства деревьев березы повислой (*Betula pendula Roth*) в естественных древостоях Хреновского бора. / С. С. Карпова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2010. – № 2. – С. 85–92.
13. Вострикова Т. В. Цитогенетические реакции березы повислой на действие стрессовых факторов / Т. В. Вострикова, А. К. Буторина // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2006. – № 2. – С. 232–238.
14. Калаев В. Н. Цитогенетические реакции лиственных древесных растений на стрессовые условия и перспективы их использования для оценки генотоксичности окружающей среды: дисс. ... докт. биол. наук / В. Н. Калаев. – Воронеж, 2009. – 414 с.
15. Калаев В. Н. Цитогенетические характеристики и морфологические показатели семенного потомства деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur L.*), произрастающих на территориях с разным уровнем антропогенного загрязнения / В. Н. Калаев, А. А. Попова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Химия. Биология. Фармация. – 2014. – №4. – С. 63–72.

16. Буторина А. К. Цитогенетическая характеристика семенного потомства некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения г. Воронежа / А. К. Буторина, В. Н. Калаев, Т. В. Вострикова [и др.] // Цитология. – 2000. – Т. 42, №2. – С. 196–201.
17. Kalaev V. N. Cytogenetic characteristics of weeping birch (*Betula pendula* Roth) seed progeny in different ecological conditions / V. N. Kalaev, S. S. Karpova, V. G. Artyukhov // Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability. – 2010. – Т. 4, № S1. – С. 77–83.
18. Kalaev V. N. Cytogenetic effect of radiation in seed of oak (*Quercus robur* L.) trees growing on sites contaminated by Chernobyl fallout / V. N. Kalaev, A. K. Butorina. – *Silvae Genetica*. – 2006. – Т. 55, № 3. – С. 93–101.
19. Бурменко Ю. В. Цитогенетический полиморфизм семенного потомства интродуцентов на примере *Rhododendron ledebourii* Pojark / Ю. В. Бурменко, Т. В. Баранова, В. Н. Калаев [и др.] // *Turczaninowia*. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 164–173.
20. Алов И. А. Цитофизиология и патология митоза / И. А. Алов. – М.: Медицина, 1972. – 264 с.
21. Челидзе В. П. Морфофункциональная классификация ядрышек / В. П. Челидзе, О. В. Зацепина // *Успехи современной биологии*. – 1988. – Т. 105, вып. 2. – С. 252–267.
22. Калаева Е. А. Теоретические основы и практическое применение математической статистики в биологических исследованиях и образовании: учебник / Е. А. Калаева, В. Г. Артюхов, В. Н. Калаев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. – 282 с.
23. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
24. Григорьев С. Г. Роль и место логистической регрессии и ROC-анализа в решении медицинских диагностических задач / С. Г. Григорьев, Ю. В. Лобзин, Н. В. Скрипченко // *Журнал инфектологии*. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 36–45.
25. Назарова М. Н. Особенности митоза у видов рода *Catalpa* Scop. при интродукции в условиях г. Воронежа / М. Н. Назарова, Е. А. Некрылова, М. В. Животыгина // *Цитология*. – 1999. – Т. 41, № 12. – С. 1072.
26. Butorina A. K. The effects of irradiation from the Chernobyl nuclear power plant accident on the cytogenetic behavior and anatomy of trees / A. K. Butorina, N. E. Kosichenko, Yu. N. Isakov [et al.] // *Cytogenetic studies of forest trees and shrub species*. – Zagreb, 1997. – P. 211–226.
27. Косулина Л. Г. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды / Л. Г. Косулина – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1993. – 240 с.
28. Симаков Е. А. О пострадационном восстановлении цитогенетических повреждений в проростках семян разных форм картофеля / Е. А. Симаков // *Радиобиология*. – 1983. – Т. 23, вып. 5. – С. 703–706.

VARIABILITY OF CYTOGENETIC INDICATORS OF SEED OFFSPRING OF WALNUT (*JUGLANS REGIA* L.) DURING INTRODUCTION IN THE VORONEZH REGION

Kalaev V. N.¹, Karpova S. S.², Al-Khachami F. R. H.¹, Ignatova I. V.¹, Slavskiy V. A.³

¹*Voronezh State University, Voronezh, Russia*

²*Voronezh State Institute of Physical Culture, Voronezh, Russia*

³*Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia*

E-mail: karpovass@mail.ru

The article discuss the results of cytogenetic studies of seed offspring of walnut (*Juglans regia* L.), which is an introduced species in the Voronezh region. Modern ideas about the level of adaptation of introduced plants should be based on an assessment of the cytological foundations of heredity of seed progeny. This will make possible to reveal the level of stability of the genetic system of plants growing outside the habitat conditions

usual for a given species. Nuts of the 2017 harvest were collected from mother plants of 30-35 years of age of seed origin, growing on private farmsteads in Voronezh. To study the cytogenetic characteristics, squashed preparations were prepared according to the standard technique. The following cytogenetic characteristics were studied in the root meristem of seed seedlings: mitotic activity, cell fractions at various stages of mitosis, the level and spectrum of mitosis pathologies, the size of nucleoli and the spectrum of their types, and the occurrence of cells with a persistent nucleolus at the stage of metaphase, anaphase and telophase of mitosis. Statistical data processing was performed using the statistical software package Stadia 7.0 Professional (InCo, Russia) and MedCalc 17.5.3. (MedCalc Software, Osten, Belgium). The presence of three polymorphic groups of seedlings according to the studied cytogenetic parameters was revealed: mutable (with a high level of pathological mitosis), low-mutable (with a low level of cytogenetic disorders), and intermediate. The cytogenetic characteristics for each of the selected groups of seedlings were described in detail. The mechanisms of homeostasis maintaining at the cellular level are discussed for above polymorphic groups. A small proportion of seedlings with a high level of cytogenetic abnormalities (7.5 %) and the predominance of seedlings with average (70 %) and low (22.5 %) values of pathological mitoses indicate a high degree of adaptation of the parent trees of the introduced walnut to the environmental conditions of the Voronezh region. Using ROC-analysis, predictors have been established for assigning any seedling to one of the selected model groups (mutable or low mutable). These predictors were: the proportions of cells at the prophase and metaphase stages, the level of pathological mitoses with and without prophase, the frequency of vacuolated and compact nucleoli. The obtained data of cytogenetic studies can be used to develop recommendations for improving the system of seed production and selection of new forms of walnuts.

Keywords: cytogenetic characteristics, walnut, mitotic activity, pathological mitoses, nucleolar characteristics, introduction.

References

1. Biganova S. G., Sukhorukikh Yu. I., Lugovskoy A. P. Modern trends in the selection of walnut in Russia, *Modern problems of science and education*, **2**, 531 (2015).
2. Ibragimov Z. A. Genetic centers of *Juglans regia* origin and world nuts production, *Agrarian science*, **7**, 17 (2010).
3. Kornienko P. S., Potanin D. V. Prospects for growing walnut in the Republic of Crimea and Russia. Science yesterday, today, tomorrow: Sat. Art. by mater. XLII int. scientific-practical conf. (Novosibirsk: SibAK, 2017), 77.
4. Vasin E. A. Selection and evaluation of promising walnut forms for central Russia: author. dis. ... cand. s-x. sciences (SPb, 2004), p. 20.
5. Veresin M. M., Ulyukina M. K. Breeding of walnut for winter hardiness by the method of selection and hybridization: Forest genetics, selection and seed production (Petrozavodsk, 1970), 365.
6. Nikolaev E. A., Slavsky V. A., Tishchenko V. V. Introduction and breeding of walnut in the Voronezh region (Voronezh: publishing house of Voronezh State University, 2007), p. 152
7. Pomogaybin A. V. Ecological and biological analysis of the results of introduction tests of species of the genus walnut (*Juglans L.*) in the forest-steppe of the Middle Volga region: author. dis. ... cand. biol. Sciences (Togliatti, 2008), p.16.
8. Slavsky V. A., Timashchuk D. A., Mironenko A. V. Zoning of *Juglans regia* in the Voronezh region in the zones of resistance to adverse factors, *Forestry journal*, **7** (3), 143 (2017).

9. Butorina A. K. Method of preliminary genetic assessment of selected plus trees for the creation of clonal and seed plantations: Forestry information recommended for implementation (M.: VNIITs Lesresurs, 1989), **8**, 8.
10. Zoldos V., Besendorfer V., Jelenic S. [et al.] Cytogenetic damages as an indicator of pedunculate oak forest decline: Cytogenetic studies of forest trees and shrub species (Zagreb, 1997), 275.
11. Kalaev V. N., Popova A. A. Cytogenetic polymorphism of seed progeny of english oak trees (*Quercus robur* L.) from the territories with different levels of anthropogenic pollution, *Problems of regional ecology*, **2**, 176 (2014).
12. Karpova S. S. Cytogenetic variability of seed progeny of birch (*Betula pendula* Roth) in natural stands of Khrenovskoy forest, *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, **2**, 85 (2010).
13. Vostrikova T. V., Butorina A. K. Cytogenetic responses of birch to stress factors, *Biology bulletin*, **33** (2), 185 (2006).
14. Kalaev V. N. Cytogenetic reactions of deciduous woody plants to stress conditions and prospects for their use to assess the genotoxicity of the environment: diss. ... doct. biol. sciences (Voronezh, 2009), p. 414
15. Kalaev V. N., Popova A. A. Cytogenetic characteristics and morphological parameters of english oak seed progeny oak (*Quercus robur* L.), growing in territories with different levels of anthropogenic pollution, *Bulletin of Voronezh State University. Chemistry series. Biology. Pharmacy*, **4**, 63 (2014).
16. Butorina A. K., Kalaev V. N., Vostrikova T. V., Myagkova O. E. Cytogenetic characteristics of seed progeny of some species of woody plants in conditions of anthropogenic pollution of Voronezh, *Tsitologiya*, **42** (2), 196 (2000).
17. Kalaev V. N., Karpova S. S., Artyukhov V. G. Cytogenetic characteristics of weeping birch (*Betula pendula* Roth) seed progeny in different ecological conditions, *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, **4** (S1), 77 (2010).
18. Kalaev V. N., Butorina A. K. Cytogenetic effect of radiation in seed of oak (*Quercus robur* L.) trees growing on sites contaminated by Chernobyl fallout, *Silvae Genetica*, **55** (3), 93 (2006).
19. Burmenko Yu. V., Baranova T. V., Kalaev V. N., Sorokopudov V. N. Cytogenetic polymorphism of seed progeny of introduced plants on the example of *Rhododendron ledebourii* Pojark., *Turczaninowia*, **21** (1), 164 (2018).
20. Alov I. A. Cytophysiology and pathology of mitosis (M.: Medicine, 1972), p. 264.
21. Chelidze V. P., Zatsepina O. V. Morphofunctional classification of nucleoli, *Advances in modern biology*, **105** (2), 252 (1988).
22. Kalaeva E. A., Artyukhov V. G., Kalaev V. N. Theoretical foundations and practical application of mathematical statistics in biological research and education: textbook (Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2016), p. 282
23. Lakin G. F. Biometrics (M.: Higher school, 1990), p. 352
24. Grigoriev S. G., Lobzin Yu. V., Skripchenko N. V. The role and place of logistic regression and ROC analysis in solving medical diagnostic task, *Journal of Infectology*, **8** (4), 36 (2016).
25. Nazarova M. N., Nekrylova E. A., Zhivotiagina M. V. Features of mitosis in species of the genus *Catalpa* Scop. during introduction in the conditions of Voronezh, *Cytology*, **12**, 1072 (1999).
26. Butorina A. K., Kosichenko N. E., Isakov Y. N. [et al.] The effects of irradiation from the Chernobyl nuclear power plant accident on the cytogenetic behavior and anatomy of trees: Cytogenetic studies of forest trees and shrub species (Zagreb, 1997), p. 211.
27. Kosulina L. G. Physiology of plant resistance to unfavorable environmental factors (Rostov-on-Don: Rostov University Publishing House, 1993), p. 240
28. Simakov E. A. On post-radiation restoration of cytogenetic damage in seedlings of seeds of different forms of potato, *Radiobiology*, **23** (5), 703 (1983).

УДК 598.112.23:591.16

**МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРСИДСКОЙ
КРУГЛОГОЛОВКИ (*PHRYNOCEPHALUS PERSICUS*, REPTILIA, AGAMIDAE)
В ЮГО-ЗАПАДНОМ ПРИКАСПИИ**

Кидов А. А., Иволга Р. А., Ерашкин В. О., Кондратова Т. Э.

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
E-mail: kidov_a@mail.ru

Работа посвящена сравнительной характеристике морфометрических показателей персидской круглоголовки (*Phrynocephalus persicus*) популяций Юго-Западного Прикаспия (*Ph. persicus persicus*) и Армянского нагорья (*Ph. persicus horvathi*). Всего были изучены 146 ящериц, в том числе 50 взрослых самцов, 72 взрослые самки и 24 молодых круглоголовок. Всех исследованных животных разделяли на три группы локалитетов: Зуванд (Диабарская котловина, Талышские горы, Азербайджан), Нахичевань (окрестности городов Нахичевань и Джульфа Нахичеванской автономной республики Азербайджана) и Веди (окрестности города Веди и Горавапские пески в Араратской области Армении). Авторы отмечают, что персидские круглоголовки из Юго-Западного Прикаспия (Зуванд) характеризуются высоким своеобразием. Для животных из этой популяции отмечены самые мелкие размеры, а также отсутствие выраженности полового диморфизма по морфометрическим показателям. Также характерной чертой морфологии круглоголовок из Зуванда является увеличенная длина когтя четвертого пальца передней конечности (C4FL). Ящерицы подвида *Ph. persicus persicus* из Юго-Западного Прикаспия по комплексу морфометрических признаков высоко достоверно обособляются от круглоголовок подвида *Ph. persicus horvathi* из Армянского нагорья, что может быть использовано для идентификации животных в музейных коллекциях.

Ключевые слова: Талышские горы, Малый Кавказ, Армянское нагорье, ящерицы, сравнительная морфология.

ВВЕДЕНИЕ

В силу высокой гетерогенности ландшафтов и обусловленным этим природно-климатическими условиями, Юго-Западный Прикаспий – это признанный центр видового разнообразия земноводных и пресмыкающихся. Характерной особенностью региона является сохранение на части его территории (преимущественно – Ленкоранская низменность и северо-восточные склоны Талыша) субтропических лесов гирканского типа с превалированием реликтов третичного происхождения [1] и свойственной им автохтонной мезофильной герпетофауны, называемой гирканской [2, 3]. Однако, помимо влажного лесного пояса приморских склонов, в Талышских горах присутствуют несколько крупных аридных межгорных котловин (Ярдымлинская, Дыманская, Лерикская, Диабарская), что способствовало их заселению ксерофильными видами переднеазиатского происхождения. Для ряда представителей этой группы (персидская круглоголовка,

Phrynocephalus persicus De Filippi 1863; руинная агама, *Trapelus ruderatus* (Olivier, 1804); полосатый гологлаз, *Ablepharus bivittatus* (Menetries, 1832); иранская ящерица, *Iranolacerta brandtii* (De Filippi, 1863); гадюка Эбнера, *Vipera ebneri* Knoepfler et Sochurek, 1955) в Юго-Западном Прикаспии находятся самые северные точки находок [2, 4, 5].

Персидская круглоголовка принадлежит к числу наименее изученных и наиболее редких рептилий региона. Глобальное распространение вида охватывает восточную часть Армянского и западную часть Иранского нагорий преимущественно на территории Ирана, однако на периферии ареала известны находки на юге и юго-востоке Азербайджана, юге Армении и северо-востоке Турции. Большинство исследователей [6, 7] считают персидскую круглоголовку политипическим видом с двумя подвидами (*Ph. persicus persicus* в восточной части ареала и *Ph. persicus horvathi* Méhely, 1894 – в западной), однако есть сторонники видовой самостоятельности этих форм [8].

В прошлом, до 1970-х гг., *Ph. persicus* была распространена и существенно севернее – на Апшеронском полуострове, в Муганской и Сардарпатской степях, Нагорном Карабахе. В настоящее время персидская круглоголовка в Закавказье достоверно известна только из Диабарской котловины (Зуванд) в Талышских горах, вдоль р. Аракс в Нахичевани и в Горавапских песках. Столь значительное отступление северной границы распространения вида на юг связано, по всей видимости, с активным хозяйственным освоением местообитаний *Ph. persicus* во второй половине XX в. Персидская круглоголовка в Азербайджане и Армении внесена в национальные Красные книги и формально охраняется на территории заказников «Зувандский» и «Горавапские пески».

Как справедливо отмечал Д.А. Мельников с соавторами [8], персидские круглоголовки подвида *Ph. persicus horvathi*, несмотря на нынешнее плачевное состояние их популяций на северной периферии ареала, становились предметом изучения во многих работах [9], в то время, как крайне редкие ящерицы номинативного подвида *Ph. persicus persicus*, сохранившиеся сейчас в Закавказье только в Талышских горах (Диабарская, или Зувандская котловина), практически не охвачены исследованиями. При этом в фондах музейных коллекций хранятся достаточно крупные выборки животных из Диабарской котловины, наиболее представительная из которых – в секторе Герпетологии Научно-исследовательского зоологического музея МГУ имени М. В. Ломоносова (рис. 1).

В рамках комплексных эколого-фаунистических исследований герпетофауны Юго-Западного Прикаспия представляется небезынтесным охарактеризовать особенности морфометрической изменчивости крайне редкой и малоизученной персидской круглоголовки из Диабарской котловины (Зуванд) в сравнении с другими северными популяциями этого вида (Армянское нагорье).

Цель настоящего исследования – сравнительная характеристика морфометрических показателей персидской круглоголовки популяций Зуванда и Армянского нагорья.

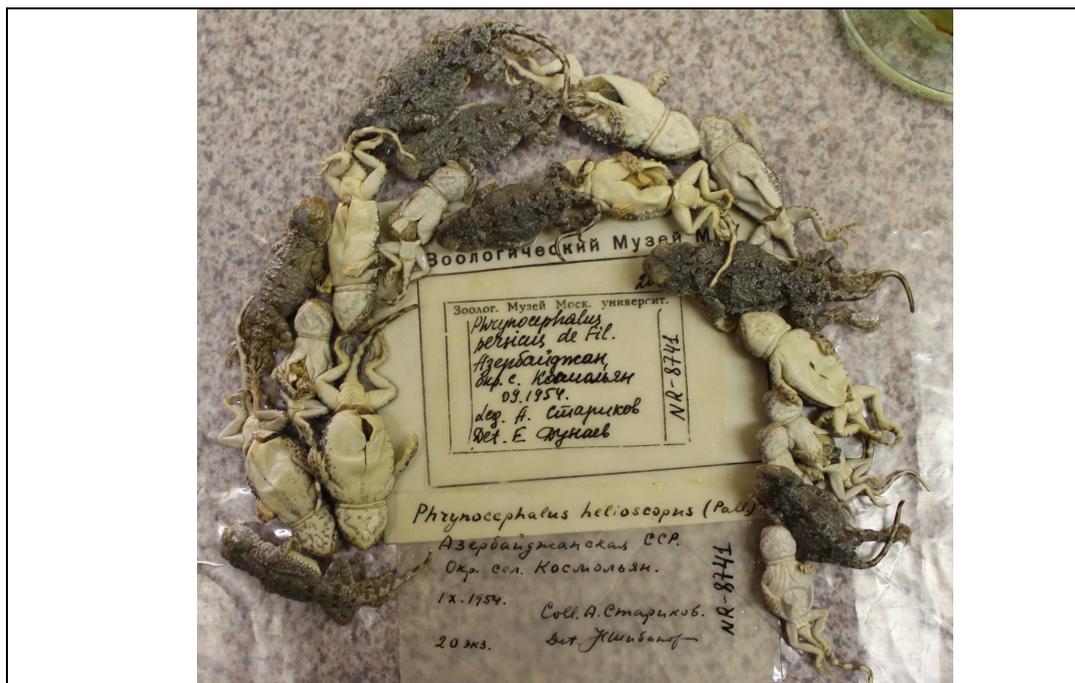


Рис. 1. Наиболее крупная из сохранившихся выборок персидской круглоголовки из Зуванда (Диабарская котловина, Талышские горы, Азербайджан) в коллекции сектора Герпетологии Научно-исследовательского зоологического музея МГУ имени М. В. Ломоносова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу осуществляли на основе исследования коллекционных сборов персидской круглоголовки с территории Закавказья, хранящихся в фондах Научно-исследовательского зоологического музея МГУ имени М. В. Ломоносова. Всего были изучены 146 ящериц, в т.ч. 50 взрослых самцов, 72 взрослые самки и 24 молодых животных (табл. 1). Всех исследованных круглоголовок разделяли на три группы локалитетов: Зуванд (окрестности селений Космолян (= Госмалян) и Таплагой Лерикского района Азербайджана), Нахичевань (окрестности городов Нахичевань и Джульфа Нахичеванской автономной республики Азербайджана) и Веди (окрестности города Веди и Гораванские пески в Араратской области Армении).

У зафиксированных в 70 %-м растворе этанола животных при помощи электронного штангенциркуля марки Solar Digital Caliper (производитель – «Хуелее», КНР) с погрешностью 0,1 мм осуществляли измерения абсолютных величин тела по методике, предложенной для других *Phrynocephalus* [10, 11]. Перечень измеряемых показателей: SVL – расстояние от кончика морды до клоаки, или длина тела; TL – расстояние от клоаки до кончика хвоста, или длина хвоста; HL – расстояние от кончика морды до заднего края черепа, или длина головы;

HW – расстояние между задними краями нижних челюстей, или ширина головы; FLL – расстояние от основания плеча до запястья, или длина передней конечности; HLL – расстояние от основания бедра до предплюсны, или длина задней конечности; AL – расстояние от заднего основания плеча до переднего основания бедра, или длина туловища; AW – длина самой широкой части туловища, или ширина туловища; DBA – расстояние между внутренними основаниями плечей, или ширина груди; DBI – расстояние между подвздошными гребнями, или ширина таза; 4FL – длина четвертого пальца передней конечности; 4TL – длина четвертого пальца задней конечности; C4FL – длина когтя четвертого пальца передней конечности; C4TL – длина когтя четвертого пальца задней конечности.

Таблица 1.

Объем исследованного материала

Локалитет		Период сбора	Кол-во животных в выборке, экз.		
			взрослые самцы	взрослые самки	молодь
Азербайджан					
Зуванд	Космольян	сентябрь – октябрь 1954 г.	4	10	5
	Таплагой	август 1961 г.	1	–	–
	Всего		5	10	5
Нахичевань	Джюльфа	август 1927 г.	3	4	6
	Джюльфа	июнь 1962 г.	5	11	0
	20 км к З от Нахичевань	июнь 1962 г.	2	0	0
	СЗ от Нахичевань	май 2007 г.	1	0	0
	Всего		11	15	6
Армения					
Веди	Веди	июнь 1951 г.	14	9	1
		июнь 1951 г.	10	28	1
		август 1952 г.	0	4	7
		июнь 1963 г.	6	4	0
		октябрь 1974 г.	2	0	4
	Гораванские пески	июнь 2009 г.	2	2	0
	Всего		34	47	13

Статистическую обработку данных проводили в программах *Microsoft Excel 2013* и *Statistica 10.0*. Для проверки гипотезы о нормальности распределения исследуемых признаков использовали тест Колмогорова-Смирнова.

Статистическую значимость наблюдаемых межпопуляционных различий у изучаемых групп определяли с помощью *H*-критерия Краскела-Уоллиса, а при попарном сравнении морфометрических признаков использовали непараметрический *U*-критерий Манна-Уитни ($U_{эмп}$). Для разделения групп по комплексу морфометрических признаков и выявления значимых из них использовали пошаговый дискриминатный анализ, а для построения дискриминатных функций использовали программу *Past 4.0*. Различия считали достоверными при значении $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Критерий Краскела-Уоллиса продемонстрировал высокую значимость фактора «локалитет» для SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI, 4FL, 4TL, C4FL у взрослых самок персидской круглоголовки (табл. 2). Самки из Тальша (Зуванд) являются самыми мелкими в Закавказье: они статистически значимо уступали самкам из Нахичевани по значениям показателей SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI, 4TL, а самкам из Веди – по SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI, 4FL, 4TL. В то же время, значение показателя C4FL у самок из Зуванда достоверно превосходило таковой у животных из Веди. Самки из Нахичевани и Веди статистически значимо различались по TL в пользу первых и по 4FL и 4TL в пользу вторых (табл. 3).

Таблица 2

Значения *H*-критерия Краскела-Уоллиса и *U*-критерия Манна-Уитни при сравнении морфометрических показателей у *Phrynocephalus persicus* из различных популяций Закавказья (полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия)

Показатель	<i>H</i> -критерий Краскела-Уоллиса		Попарно сравниваемые группы					
			<i>U</i> -критерий Манна-Уитни					
			Зуванд – Нахичевань		Зуванд – Веди		Нахичевань – Веди	
<i>H</i>	<i>p</i> -level	$U_{эмп}$	<i>p</i> -level	$U_{эмп}$	<i>p</i> -level	$U_{эмп}$	<i>p</i> -level	
Взрослые самцы								
<i>SVL</i>	12,68	0,002	0,0	0,002	7,0	0,001	142,5	0,240
<i>TL</i>	23,06	0,000	0,0	0,002	1,0	0,000	54,0	0,000
<i>HL</i>	9,86	0,007	4,0	0,008	20,5	0,007	133,5	0,158
<i>HW</i>	9,60	0,014	6,0	0,015	16,0	0,004	183,5	0,926
<i>FLL</i>	11,65	0,003	1,0	0,003	8,0	0,001	160,5	0,484
<i>HLL</i>	13,68	0,001	0,0	0,002	4,0	0,001	137,0	0,187
<i>AL</i>	10,75	0,005	4,0	0,008	10,0	0,002	155,0	0,398
<i>AW</i>	7,48	0,024	7,0	0,020	21,0	0,007	183,5	0,926
<i>DBA</i>	7,22	0,027	8,0	0,027	22,0	0,008	174,5	0,741
<i>DBI</i>	10,03	0,007	2,0	0,004	21,0	0,007	137,0	0,187

Продолжение таблицы 1

<i>4FL</i>	2,63	0,268	17,0	0,234	49,0	0,130	162,5	0,518
<i>4TL</i>	14,80	0,001	11,0	0,062	4,5	0,001	101,0	0,023
<i>C4FL</i>	7,50	0,024	18,0	0,282	34,0	0,032	112,5	0,049
<i>C4TL</i>	6,08	0,048	14,5	0,141	78,0	0,769	95,5	0,016
Взрослые самки								
<i>SVL</i>	26,62	0,000	11,0	0,000	2,0	0,000	233,5	0,051
<i>TL</i>	33,67	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	150,5	0,001
<i>HL</i>	23,32	0,000	9,0	0,000	5,0	0,000	347,0	0,928
<i>HW</i>	23,74	0,000	6,0	0,000	8,0	0,000	306,5	0,450
<i>FLL</i>	25,50	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	351,5	0,987
<i>HLL</i>	27,83	0,000	0,0	0,000	2,0	0,000	237,0	0,058
<i>AL</i>	25,75	0,000	10,0	0,000	6,0	0,000	240,0	0,064
<i>AW</i>	14,16	0,008	18,0	0,002	65,0	0,000	303,5	0,421
<i>DBA</i>	10,92	0,004	31,5	0,016	78,0	0,001	322,5	0,622
<i>DBI</i>	23,70	0,000	11,0	0,000	1,0	0,000	335,5	0,780
<i>4FL</i>	11,78	0,003	63,0	0,504	81,0	0,001	232,0	0,048
<i>4TL</i>	18,58	0,000	29,5	0,011	44,5	0,000	227,5	0,040
<i>C4FL</i>	8,72	0,013	46,0	0,107	99,0	0,004	278,0	0,221
<i>C4TL</i>	1,03	0,599	57,0	0,316	229,5	0,908	299,0	0,379
Молодь								
<i>SVL</i>	7,32	0,026	0,0	0,006	11,0	0,034	31,5	0,511
<i>TL</i>	14,69	0,001	0,0	0,006	0,0	0,001	13,0	0,023
<i>HL</i>	6,84	0,033	1,0	0,011	11,5	0,038	30,5	0,456
<i>HW</i>	7,44	0,024	0,0	0,006	13,0	0,055	26,0	0,254
<i>FLL</i>	8,48	0,014	0,0	0,006	7,0	0,012	35,0	0,726
<i>HLL</i>	9,57	0,008	0,0	0,006	4,0	0,005	39,0	1,000
<i>AL</i>	7,05	0,030	1,0	0,011	14,0	0,068	24,0	0,188
<i>AW</i>	5,72	0,057	4,0	0,045	10,0	0,027	35,5	0,759
<i>DBA</i>	5,07	0,079	2,0	0,018	14,0	0,068	32,5	0,569
<i>DBI</i>	8,06	0,018	0,0	0,006	8,5	0,018	33,0	0,599
<i>4FL</i>	5,29	0,071	5,0	0,068	11,0	0,034	32,0	0,539
<i>4TL</i>	5,60	0,061	5,0	0,068	11,0	0,034	28,0	0,335
<i>C4FL</i>	1,78	0,412	8,0	0,201	26,0	0,522	28,5	0,357
<i>C4TL</i>	4,51	0,105	13,0	0,715	16,0	0,104	19,0	0,079

У взрослых самцов статистически значимые межпопуляционные различия были выявлены по SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI, 4TL, C4FL, C4TL (табл. 4). При этом при попарном сравнении самцы из Зуванда также обладали самыми маленькими размерами: так, они имели достоверно меньшие значения признаков SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI по сравнению с животными из Нахичевани и SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA, DBI, 4TL – в сравнении с ящерицами из Веди. При этом, как и у самок, у самцов из Зуванда

отмечено самое большое значение С4FL. Самцы из Нахичевани статистически значимо превосходили самцов из Веди по признакам TL и С4FL, но уступали по значениям 4TL и С4TL (табл. 2).

Таблица 3.
Сравнительная характеристика морфометрических показателей взрослых самок *Phrynocephalus persicus* в Закавказье

Показатель	Локалитет		
	<i>Ph. persicus persicus</i>	<i>Ph. persicus horvathi</i>	
	Зуванд	Нахичевань	Веди
SVL	<u>35,6±3,16</u>	<u>44,0±4,52</u>	<u>46,7±3,48</u>
	32,1–41,3	35,5–51,0	38,3–54,8
TL	<u>29,2±2,63</u>	<u>55,3±5,25</u>	<u>50,1±3,67</u>
	24,0–33,6	45,1–62,2	41,5–59,1
HL	<u>10,0±0,64</u>	<u>11,8±0,92</u>	<u>11,9±0,72</u>
	9,0–10,8	10,2–13,4	9,9–13,6
HW	<u>9,7±0,67</u>	<u>11,6±0,96</u>	<u>11,7±0,77</u>
	8,8–10,5	10,3–13,5	9,8–13,4
FLL	<u>9,8±0,78</u>	<u>13,9±1,31</u>	<u>13,9±0,92</u>
	8,9–11,2	12,1–16,1	11,8–15,9
HLL	<u>13,6±1,15</u>	<u>18,3±1,20</u>	<u>19,1±1,40</u>
	12,0–16,0	16,2–19,7	15,6–22,3
AL	<u>17,6±1,62</u>	<u>22,7±2,94</u>	<u>24,3±2,41</u>
	15,2–19,8	16,9–26,9	17,7–28,6
AW	<u>13,8±1,79</u>	<u>17,9±2,90</u>	<u>17,4±2,76</u>
	11,2–16,1	12,1–21,9	11,7–24,3
DBA	<u>8,9±0,82</u>	<u>10,0±1,41</u>	<u>10,2±1,12</u>
	7,8–10,5	7,1–12,8	8,0–13,0
DBI	<u>4,5 ±0,38</u>	<u>6,3±1,01</u>	<u>6,5±0,69</u>
	4,0–5,1	4,1–7,6	5,1–8,0
4FL	<u>4,2±0,44</u>	<u>4,4±0,60</u>	<u>4,8±0,58</u>
	3,2–4,8	3,8–5,6	3,5–6,9
4TL	<u>5,8±0,71</u>	<u>6,6±0,46</u>	<u>6,9±0,54</u>
	4,6–6,8	5,9–7,7	5,7–8,6
С4FL	<u>1,9±0,27</u>	<u>1,7±0,36</u>	<u>1,6±0,37</u>
	1,4–2,4	1,0–2,4	0,8–2,3
С4TL	<u>1,6±0,25</u>	<u>1,5±0,39</u>	<u>1,6±0,35</u>
	1,2–2,0	1,0–2,4	0,9–2,6

Таблица 4.

Сравнительная характеристика морфометрических показателей взрослых самцов *Phrynocephalus persicus* в Закавказье

Показатель	Локалитет		
	<i>Ph. persicus persicus</i>	<i>Ph. persicus horvathi</i>	
	Зуванд	Нахичевань	Веди
<i>SVL</i>	$\frac{34,4 \pm 4,75}{28,4-40,3}$	$\frac{44,3 \pm 3,14}{40,4-51,7}$	$\frac{44,7 \pm 3,78}{33,8-49,1}$
<i>TL</i>	$\frac{31,6 \pm 4,66}{27,1-38,7}$	$\frac{60,6 \pm 3,54}{55,4-63,9}$	$\frac{53,6 \pm 5,22}{37,4-61,7}$
<i>HL</i>	$\frac{9,8 \pm 1,16}{8,6-11,6}$	$\frac{11,9 \pm 0,64}{11,1-13,0}$	$\frac{11,5 \pm 0,76}{9,9-12,9}$
<i>HW</i>	$\frac{9,7 \pm 1,21}{8,1-11,4}$	$\frac{11,5 \pm 0,64}{10,6-12,6}$	$\frac{11,5 \pm 0,81}{9,4-13,3}$
<i>FLL</i>	$\frac{10,1 \pm 1,60}{8,8-12,8}$	$\frac{14,2 \pm 0,96}{12,8-16,0}$	$\frac{13,7 \pm 1,34}{10,3-15,4}$
<i>HLL</i>	$\frac{14,3 \pm 1,87}{12,9-17,4}$	$\frac{19,4 \pm 1,40}{17,7-22,9}$	$\frac{19,6 \pm 1,63}{15,0-21,9}$
<i>AL</i>	$\frac{16,5 \pm 2,90}{14,0-21,4}$	$\frac{22,2 \pm 1,95}{19,9-25,1}$	$\frac{22,7 \pm 2,29}{15,5-26,3}$
<i>AW</i>	$\frac{12,0 \pm 2,54}{9,3-15,0}$	$\frac{15,9 \pm 2,24}{11,6-19,4}$	$\frac{15,9 \pm 2,34}{11,1-20,5}$
<i>DBA</i>	$\frac{6,8 \pm 2,90}{2,2-9,8}$	$\frac{9,7 \pm 1,04}{7,3-11,5}$	$\frac{9,8 \pm 1,19}{7,4-12,3}$
<i>DBI</i>	$\frac{4,6 \pm 0,79}{3,9-5,6}$	$\frac{6,0 \pm 0,42}{5,3-6,6}$	$\frac{5,8 \pm 0,58}{4,3-7,0}$
<i>4FL</i>	$\frac{4,3 \pm 0,67}{3,5-5,1}$	$\frac{4,7 \pm 0,51}{3,9-5,3}$	$\frac{4,8 \pm 0,52}{3,8-6,3}$
<i>4TL</i>	$\frac{5,7 \pm 0,68}{4,7-6,5}$	$\frac{6,5 \pm 0,80}{4,9-7,7}$	$\frac{7,1 \pm 0,56}{6,1-8,1}$
<i>C4FL</i>	$\frac{2,0 \pm 0,28}{1,6-2,4}$	$\frac{1,8 \pm 0,24}{1,4-2,2}$	$\frac{1,6 \pm 0,38}{0,8-3,0}$
<i>C4TL</i>	$\frac{1,3 \pm 0,65}{0,2-1,8}$	$\frac{1,3 \pm 0,33}{0,4-1,6}$	$\frac{1,6 \pm 0,34}{0,8-2,3}$

У персидской круглоголовки из Зуванда половой диморфизм по исследуемым морфометрическим признакам не выражен (табл. 5), тогда как у ящериц этого вида из Армянского нагорья отмечены статистически значимые различия по ряду признаков. Так, самки из Нахичевани и Веди меньше самцов по значению TL. Также самки из Веди превосходили самцов по AL, AW и DBI.

Таблица 5

Значения U-критерия Манна-Уитни при сравнении морфометрических показателей взрослых самцов и самок у *Phrynocephalus persicus* в различных популяциях Закавказья (полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия)

Показатель	Локалитет					
	Зуванд		Нахичевань		Веди	
	$U_{\text{мп}}$	p -level	$U_{\text{мп}}$	p -level	$U_{\text{мп}}$	p -level
<i>SVL</i>	21,5	0,668	76,5	0,755	607,5	0,067
<i>TL</i>	18,0	0,391	38,0	0,021	416,0	0,000
<i>HL</i>	20,0	0,540	78,5	0,836	615,0	0,078
<i>HW</i>	25,0	1,000	79,5	0,876	669,5	0,215
<i>FLL</i>	23,5	0,854	71,5	0,568	783,5	0,882
<i>HLL</i>	19,0	0,462	54,0	0,139	610,0	0,071
<i>AL</i>	16,0	0,270	70,0	0,517	495,0	0,004
<i>AW</i>	14,0	0,178	46,5	0,062	568,0	0,027
<i>DBA</i>	12,0	0,111	76,0	0,736	689,0	0,292
<i>DBI</i>	24,0	0,903	59,5	0,233	358,0	0,000
<i>4FL</i>	23,0	0,806	61,5	0,276	758,5	0,698
<i>4TL</i>	23,0	0,806	82,5	1,000	598,5	0,055
<i>C4FL</i>	23,0	0,806	66,0	0,392	738,0	0,559
<i>C4TL</i>	21,0	0,624	55,0	0,154	791,0	0,939

У молодых особей статистически значимый вклад в различия между локалитетами вносили признаки SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL и DBI. Молодь персидской круглоголовки из Зуванда также характеризовались меньшими размерами по сравнению с молодыми ящерицами из Нахичевани и Веди. В частности, молодые животные из Юго-Западного Прикаспия имели достоверно меньшие значения признаков SVL, TL, HL, HW, FLL, HLL, AL, AW, DBA и DBI, чем круглоголовки из Нахичевани, и SVL, TL, HL, FLL, HLL, AW, DBI, 4FL и 4TL чем ящерицы из Веди. Между собой молодежь из Нахичевани и Веди отличались только большими значениями TL у первых (табл. 6).

Результаты дискриминатного анализа показали, что самки, самцы и молодежь персидской круглоголовки располагаются в двумерном пространстве обособленно и, несмотря на перекрытия кластеров животных из Веди и Нахичевани, все группы статистически значимо удалены друг от друга (рис. 2). По всей видимости, первый корень дискриминатной функции объясняет различия подвидов *Ph. persicus persicus* и *Ph. persicus horvathi* по морфометрическим признакам, второй корень – описывает внутривидовую изменчивость *Ph. persicus horvathi*. Основными значимыми признаками при разделении кластеров являются: SVL, TL, FLL, HLL, 4TL и C4FL

для самок; SVL, TL, 4TL, HW, AW, DBI, C4FL, C4TL – для самцов; SVL, TL, C4TL – у молодых.

Таблица 6.
Сравнительная характеристика морфометрических показателей молоди
***Phrynoscephalus persicus* в Закавказье**

Показатель	Локалитет		
	<i>Ph. persicus persicus</i>	<i>Ph. persicus horvathi</i>	
	Зуванд	Нахичевань	Веди
SVL	<u>26,7±2,22</u>	<u>33,6±2,68</u>	<u>32,5±5,69</u>
	24,2–28,6	29,1–36,5	23,8–45,3
TL	<u>22,5±1,01</u>	<u>42,0±2,51</u>	<u>37,0±5,99</u>
	21,5–24,0	38,6–45,3	26,6–49,5
HL	<u>8,1±0,60</u>	<u>9,7±0,70</u>	<u>9,2±1,14</u>
	7,5–8,9	8,7–10,6	6,9–11,2
HW	<u>7,7±0,44</u>	<u>9,5±0,49</u>	<u>8,8±1,28</u>
	7,2–8,1	8,9–10,0	6,2–10,6
FLL	<u>7,8±0,53</u>	<u>10,4±1,15</u>	<u>10,2±1,86</u>
	7,0–8,5	9,0–11,6	7,3–14,2
HLL	<u>10,5±0,78</u>	<u>14,7±1,11</u>	<u>14,4±2,35</u>
	0,78–11,2	13,1–16,0	10,8–18,3
AL	<u>13,4±1,58</u>	<u>17,4±1,35</u>	<u>16,2±3,12</u>
	11,2–15,7	15,3–19,0	10,1–23,1
AW	<u>8,3±1,71</u>	<u>11,2±2,09</u>	<u>11,3±2,62</u>
	6,9–11,2	7,5–13,5	7,2–14,9
DBA	<u>5,9±0,53</u>	<u>7,1±0,78</u>	<u>7,3±1,43</u>
	5,2–6,5	6,3–8,5	4,6–9,2
DBI	<u>3,3±0,38</u>	<u>4,5±0,44</u>	<u>4,3±0,84</u>
	2,7–3,7	3,9–5,0	2,3–5,8
4FL	<u>3,3±0,44</u>	<u>3,8±0,22</u>	<u>3,9±0,53</u>
	2,8–4,0	3,5–4,1	3,0–5,0
4TL	<u>4,6±0,76</u>	<u>5,4±0,59</u>	<u>5,8±0,94</u>
	3,7–5,8	4,7–6,4	4,1–7,1
C4FL	<u>1,6±0,19</u>	<u>1,4±0,31</u>	<u>1,5±0,32</u>
	1,3–1,8	0,9–1,7	0,7–1,9
C4TL	<u>1,0±0,10</u>	<u>1,1±0,20</u>	<u>1,4±0,37</u>
	0,9–1,2	0,8–1,3	0,9–1,9

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРСИДСКОЙ ...

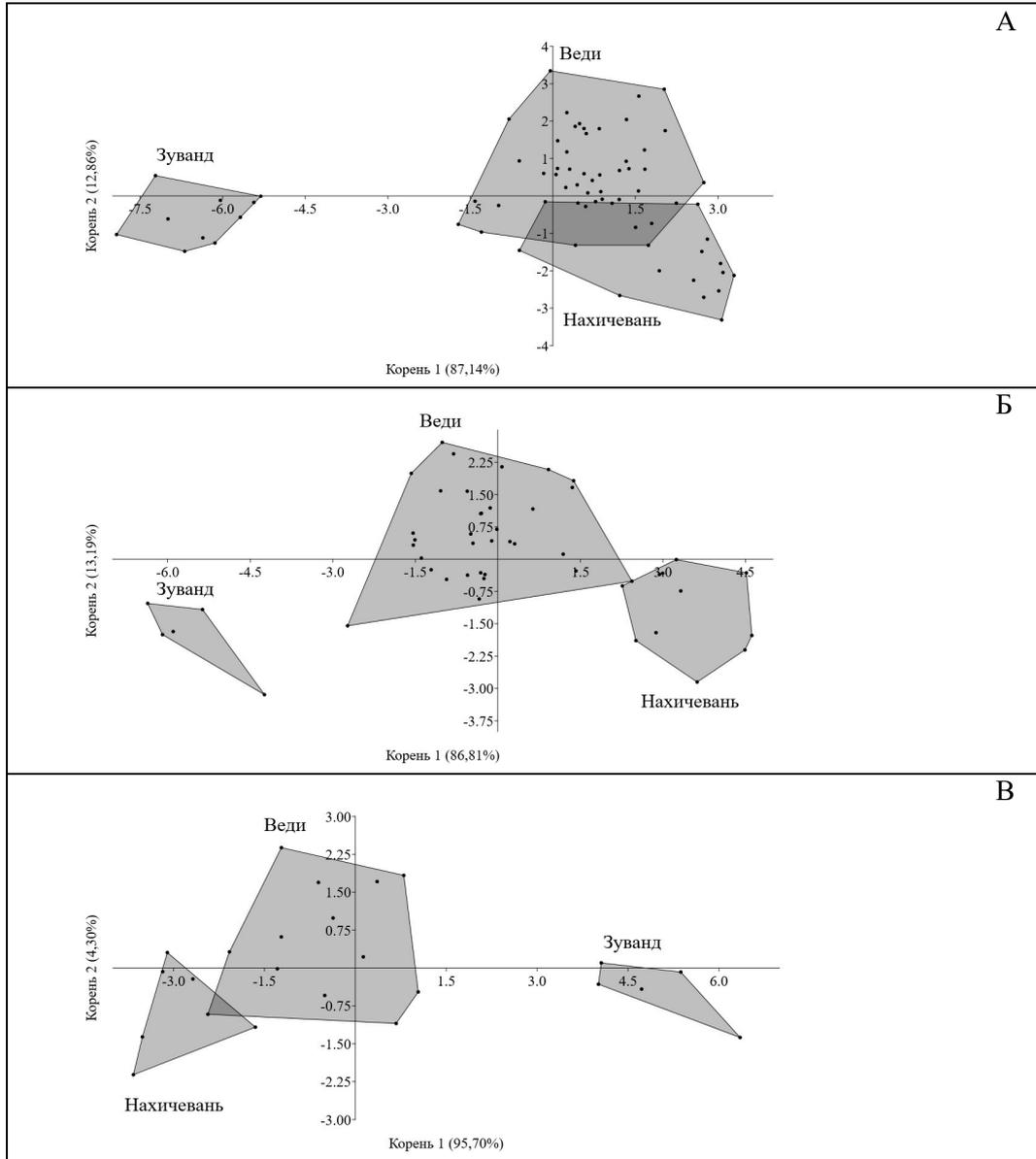


Рис. 2. Распределение *Phrynocephalus persicus* в евклидовом пространстве по результатам изучения комплекса морфометрических показателей: А – самки; Б – самцы; В – молодь

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Персидские круглоголовки из Юго-Западного Прикаспия (Зуванд), в сравнении с ящерицами из Армянского нагорья (Нахичевань и Веди) характеризуются высоким своеобразием. Так, для животных из этой популяции отмечены самые

мелкие размеры, а также отсутствие выраженности полового диморфизма в значениях традиционно измеряемых морфометрических показателей. Также характерной чертой морфологии круглоголовок из Зуванда, как самцов, так и самок, является увеличенная длина когтя четвертого пальца передней конечности (C4FL).

2. Ящерицы подвида *Ph. persicus persicus* из Юго-Западного Прикаспия по комплексу морфометрических признаков высоко достоверно обособляются от круглоголовок подвида *Ph. persicus horvathi* из Армянского нагорья, что может быть использовано для идентификации животных в музейных коллекциях. При этом стоит отметить, что без изучения *Ph. persicus persicus* на основной части ареала (Иранское нагорье) нельзя утверждать точно, являются ли выявленные различия особенностью этого подвида или только популяции Зуванда в условиях пессимума ареала.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность кураторам коллекции пресмыкающихся Научно-исследовательского зоологического музея МГУ имени М. В. Ломоносова В. Ф. Орловой и Р. А. Назарову за любезно предоставленную возможность изучения сборов персидской круглоголовки с территории Азербайджана и Армении.

Список литературы

1. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли / А. Л. Тахтаджян. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. – 248 с.
2. Туниев Б. С. Змеи Кавказа: таксономическое разнообразие, распространение, охрана / Б. С. Туниев, Н. Л. Орлов, Н. Б. Ананьева, А. Л. Агасян. – СПб. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 223 с.
3. Кидов А. А. К биологии гирканской лягушки (*Rana macrocnemis pseudodalmatina* Eiselt et Schmidtler, 1971) в Юго-Восточном Азербайджане / А. А. Кидов // Современная герпетология. – 2010. – Т. 10, Вып. 3/4. – С. 109–114.
4. Кидов А. А. Морфометрические и репродуктивные особенности полосатого гологлаза (*Ablepharus bivittatus* (Menetries 1832), Reptilia, Scincidae) в Талышских горах / А. А. Кидов, Т. Э. Кондратова // Зоологический журнал. – 2021. – Т. 100, № 3. – С. 299–306. – DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044513421030053>
5. Кидов А. А. Морфометрическая изменчивость полосатого гологлаза (*Ablepharus bivittatus*, Reptilia, Scincidae) на севере ареала / А. А. Кидов, Т. Э. Кондратова // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2021. – № 58 (2). – С. 145–152.
6. Solovyeva E. Molecular differentiation and taxonomy of the sunwatcher toad-headed agama species complex *Phrynocephalus* superspecies *helioscopus* (Pallas, 1771) (Reptilia, Agamidae) / E. Solovyeva, N. A. Poyarkov, E. A. Dunaev, T. N. Duysebayeva, A. A. Bannikova // Russian Journal of Genetics. – 2011. – V. 47, № 7. – P. 842–856.
7. Milto K. D. A catalogue of the Agamid and Chamaeleonid types in the collection of the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg / K. D. Milto, A. V. Barabanov // Russian Journal of Herpetology. – 2012. – V. 19, № 2. – P. 155–170.
8. Мельников Д. А. Таксономическая ревизия круглоголовок группы *Phrynocephalus persicus* De Filippi, 1863 с описанием нового вида из южного Ирана, Загрос / Д. А. Мельников, Е. Н. Мельникова, Р. А. Назаров, М. Раджабизаде // Современная герпетология. – 2013. – Т. 13, № 1-2. – С. 34–46.

9. Даревский И. С. Динамика популяции, перемещение и рост такырной круглоголовки в полупустыне долины реки Аракса в Армении / Даревский И. С. // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 1960. – Т. 65, № 6. – С. 31–38.
10. Zhang K. Sex ratio and sexual size dimorphism in a toad-headed lizard, *Phrynocephalus guinanensis* / K. Zhang, H. Tong, Y. Wo, N. Liu, Y. Jin // Asian Herpetological Research. – 2018. – V. 9, № 1. – P. 35–42. – DOI: <https://doi.org/10.16373/j.cnki.ahr.170024>
11. Hu C. Genetic and morphological divergence among three closely related *Phrynocephalus* species (Agamidae) / C. Hu, Y. Wu, L. Ma, Y. Chen, X. Ji // BMC Evolutionary Biology. – 2019. – V. 19, №1. – P. 114. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s12862-019-1443-y>

MORPHOMETRIC VARIABILITY OF THE PERSIAN TOAD-HEADED AGAMA (*PHRYNOCEPHALUS PERSICUS*, REPTILIA, AGAMIDAE) IN THE SOUTH-WEST OF PRE-CASPIAN REGION

Kidov A. A., Ivolga R. A., Erashkin V. O., Kondratova T. E.

*Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia
E-mail: kidov_a@mail.ru*

Background. The Persian toadheaded agama (*Phrynocephalus persicus*) lives in the southern part of the Armenian Highlands and in the west of the Iranian Highlands. In the north, the species penetrates into southern Azerbaijan and Armenia. Lizards from Armenia often became the objects of various studies. The Persian toadheaded agama from southeastern Azerbaijan (Talysh Mountains, Diabar depression, Zuvand desert) remain completely unexplored due to their extremely small number. The purpose of the study is a comparative characteristic of the morphometric indicators of the Persian toadheaded agama populations of Zuvand and the Armenian Highlands.

Materials and methods. A total of 146 lizards were studied, including 50 adult males, 72 adult females and 24 young agamas. All the studied animals were divided into three groups of localities: Zuvand (Diabar Depression, Talysh Mountains, Azerbaijan), Nakhichevan (vicinities of Nakhichevan town and Julfa town in the Nakhichevan Autonomous Republic of Azerbaijan) and Vedi (vicinity of Vedi town and Goravan sands in the Ararat region of Armenia).

Results. The authors note that the toadheaded agamas from the Southwest Pre-Caspian Region (Zuvand) are characterized by high originality. For animals from this population, the smallest sizes were noted, as well as the absence of sexual dimorphism in morphometric characteristics. Also, a characteristic feature of the morphology of toadheaded agamas from Zuvand is the increased length of the fourth finger claw in forelimb (C4FL). Lizards of the subspecies *Ph. persicus persicus* from the Southwest Pre-Caspian Region are highly reliably distinguished from toadheaded agamas of the subspecies *Ph. persicus horvathi* from Armenian Highlands, which can be used to identify animals in museum collections.

Keywords: Talysh Mountains, Caucasus Minor, Armenian Highlands, lizards, comparative morphology.

References

1. Takhtajyan A. *Floristic regions of the Earth*, p. 349 (Nauka, Leningrad, 1978)
2. Tuniyev B. S., Orlov N. L., Ananjeva N. B., Agasian A. L. *Snakes of Caucasus: taxonomical diversity, distribution, conservation*, p. 223 (KMK Scientific Press, St. Petersburg – Moscow, 2009).
3. Kidov A. A. Notes on the biology of Iranian long-legged wood frog (*Rana macrocnemis pseudodalmatina* Eiselt et Schmidler, 1971) in Southeastern Azerbaijan, *Current Studies of Herpetology*, **10** (3-4), 109 (2010).
4. Kidov A. A., Kondratova T. E. Morphometric and reproductive features of the two streaked snake-eyed skink (*Ablepharus bivittatus* (Menetries 1832), Reptilia, Scincidae) in the Talysh mountains, *Zoologicheskyy Zhurnal*, **100** (3), 299, (2021).
5. Kidov A. A., Kondratova T. E. Morphometric variability of the two streaked snake-eyed skink (*Ablepharus bivittatus*, Reptilia, Scincidae) in the north of species range, *Izvestiya of Gorskii GAU*, **58** (2), 145 (2021).
6. Solovyeva E., Poyarkov N. A., Dunaev E. A., Duysebayeva T. N., Bannikova A. A. Molecular differentiation and taxonomy of the sunwatcher toad-headed agama species complex *Phrynocephalus* superspecies *helioscopus* (Pallas, 1771) (Reptilia, Agamidae), *Russian Journal of Genetics*, **47** (7), 842 (2011).
7. Milto K. D., Barabanov A. V. A catalogue of the Agamid and Chamaeleonid types in the collection of the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, *Russian Journal of Herpetology*, **19** (2), 155 (2012).
8. Melnikov D., Melnikova E., Nazarov R., Rajabizadeh M. Taxonomic revision of *Phrynocephalus persicus* (De Filippi, 1863) complex with description of a new species from Zagros, Southern Iran, *Current Studies in Herpetology*, **13** (1-2), 34 (2013).
9. Darevsky I. S. Population dynamics, movement and growth of sun-watcher tad-headed agama in semidesert of Araks river valley in Armenia, *Bulletin MOIP. Biological sciences*, **65** (6), 31 (1960).
10. Zhang K., Tong H., Wo Y., Liu N., Jin Y. Sex ratio and sexual size dimorphism in a toad-headed lizard, *Phrynocephalus guinanensis*, *Asian Herpetological Research*, **9** (1), 35 (2018).
11. Hu C., Wu Y., Ma L., Chen Y., Ji X. Genetic and morphological divergence among three closely related *Phrynocephalus* species (Agamidae), *BMC Evolutionary Biology*, **19** (1), 114 (2019).

УДК 577.11

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-101-111

АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЧЕЛИНОГО МЁДА И ЕГО ПЕПТИДНЫХ ФРАКЦИЙ

Клыченков С. В.¹, Кручинина А. Д.¹, Бичурина Л. А.²

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия

²ГБУЗ «Кузнецкая межрайонная детская больница», Кузнецк, Россия

E-mail: 79048510599@ya.ru

В статье приведены данные по экспериментальной оценке антибактериального эффекта двух образцов пчелиного мёда разного ботанического происхождения, собранных в различных районах Пензенской области, и смеси пептидных молекул, полученных из них с применением комбинации методов ультрафильтрации, ионообменной хроматографии и гель-фильтрации. Показано, что наибольшей антибактериальной активностью из исследованных образцов пчелиного мёда в виде водного раствора обладает гречишный, и связано это с повышенным содержанием пероксида водорода в его составе. Антагонистическая активность против штаммов *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Salmonella enteritidis*, использованных в качестве тестовых культур для определения антибактериальных свойств исследуемых водных растворов мёда диско-диффузионным методом, понижается при разбавлении образцов мёда, что объясняется уменьшением концентрации не только углеводов, имеющих наибольшую значимость в проявлении такой активности в растворах с высокой концентрацией, но и пероксида водорода, фенольных веществ, белковых молекул. Исследованные в различной концентрации на наличие антибактериальной активности таким же методом пептидные фракции с молекулами массой менее 5 кДа, полученные из тех же образцов пчелиного мёда, показали отсутствие зоны задержки роста тестовых микроорганизмов вокруг дисков с нанесёнными на них аликвотами фракций, что объясняется отсутствием в них низкомолекулярных антимикробных пептидов.

Ключевые слова: мёд, пептиды мёда, антимикробные пептиды, антимикробная активность

ВВЕДЕНИЕ

Пчелиный мёд является сложной биологической многокомпонентной смесью, имеющей в своём составе вещества как растительного происхождения, так и животного. Большое количество идентифицированных к настоящему времени в составе мёда биологически активных веществ позволяет сказать, что мёд обладает антиоксидантной, антимикробной, противовирусной, антидиабетической активностью, позитивно действует на сердечно-сосудистую, нервную, дыхательную системы, органы пищеварения [1]. Не смотря на переменный состав мёда, зависящий от времени сбора нектара пчёлами, сезона, ботанического происхождения мёда и породы пчелы, основной набор компонентов остаётся неизменным: 15–20 % воды, 65–75 % углеводов, из которых наибольшее количество приходится на фруктозу, глюкозу, мальтозу и сахарозу, а также около 1 % других

веществ, к которым относятся витамины, минералы, органические кислоты, различные фенольные соединения, белки и пептиды [2].

Антибактериальные свойства мёда привлекают внимание исследователей уже довольно давно. В ряде экспериментальных статей показано, что водные растворы мёда в различной концентрации показывают активность против *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Beta-haemolytic streptococci*, метициллинрезистентного *Staphylococcus aureus*, ванкомицинрезистентных энтерококков [3]. Использование мёда в альтернативной медицине как средства, способствующего заживлению ран путём устранения или предотвращения инфицирования и воспаления, эволюционировало в применение различных патчей и повязок, пропитанных очищенным и специальным образом подготовленным для медицинского использования («*medical grade*») мёдом тонкосемянника *Leptospermum scoparium*, имеющего в силу своего ботанического происхождения высокое содержание пероксида водорода. Однако антибактериальные свойства мёда зависят не только от присутствия в его составе пероксида водорода, но также проявляются за счёт низкого рН, высокой концентрации углеводов, содержания фенольных соединений.

Большую роль в проявлении антибактериального эффекта мёда играют и антимикробные пептиды — малые белковые молекулы, встречающиеся практически у всех живых организмов. У медоносной пчелы *Apis mellifera* к настоящему времени идентифицировано около 10 различных видов антимикробных пептидов, участвующих в функционировании иммунной системы этих насекомых [4]. Как известно, при переработке нектара в мёд пчёлки обрабатывают его секретом слюнных желёз, в составе которого могут присутствовать антимикробные пептиды. Действительно, исследования последних лет показали наличие как минимум одного антимикробного пептида пчёл в составе мёда — дефензина-1 (молекулярная масса 5532 Да) [5]. Учитывая, что организмом пчелы вырабатывается гораздо большее количество антимикробных пептидов, перспективным является поиск других пептидов в составе мёда, обладающих антибактериальным действием. Открытие и изучение таких пептидов является актуальной задачей с учётом роста антибиотикорезистентности среди штаммов патогенных микроорганизмов. Целью данной работы является выделение и очистка пептидных фракций мёда с молекулами массой менее 5 кДа, т. е. содержащих низкомолекулярные пептиды, и определение их антибактериальной активности с использованием ряда тестовых культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения биологической активности фракций пептидов или отдельных пептидных компонентов раствора пчелиного мёда необходимо добиться приемлемой степени очистки, что при высокой концентрации углеводов является сложной задачей. Комбинация использованных методов ультрафильтрации и ионообменной хроматографии позволяет провести очистку пептидной фракции мёда, однако в силу малого объёма получаемых фракций и необходимости дополнительной очистки нельзя сказать, что этот способ является оптимальным. Тем не менее, для очистки небольших объёмов исследуемых растворов мёда данный метод является пригодным, хотя и трудозатратным.

Пчелиный мёд

В качестве источника исследуемых пептидных фракций использовалось два сорта мёда: гречишный (Пензенская область, р-н д. Пенделка Кузнецкого района, сбор 2020 г.) — образец 1, и светлый смешанного ботанического происхождения (Пензенская область, р-н с. Болтино Камешкирского района, сбор 2020 г.) — образец 2. Собранный мёд хранился в герметично закрытой пластиковой таре в тёмном месте при комнатной температуре. Для выделения пептидной фракции был приготовлен 50 %-й водный раствор мёда общим объёмом 0,5 л, который затем был профильтрован под вакуумом через бумажный фильтр «красная лента» для очистки от грубых примесей. В полученном растворе был определён ряд параметров, характеризующих его состав: концентрация пептидов, углеводов по кетозам и пероксида водорода. Работы по выделению и очистке пептидной фракции пчелиного мёда, а также по оценке количественных параметров, были проведены на базе кафедры «Общая биология и биохимия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

Определение концентрации пептидов, пероксида водорода и углеводов по кетозам

Для определения концентрации пептидов использовалась модификация метода Лоури: к образцу мёда объёмом 0,7 мл добавляли равный объём 10 %-го раствора ТХУ, инкубировали при комнатной температуре в течение 10 минут и затем центрифугировали 20 минут при 4000 об/мин. В полученной надосадочной жидкости в трёх повторностях определяли концентрацию белковых продуктов методом Лоури по величине поглощения излучения на длине волны 750 нм с длиной оптического пути 10 мм [6]. В качестве контроля использовалась проба, в которой исследуемый раствор был заменён на дистиллированную воду; расчёт концентрации проводился по уравнению калибровочной прямой, построенной с использованием разведений БСА с известными концентрациями.

Для определения содержания в пробах углеводов по кетозам использовали количественный вариант пробы Селиванова [7]: к аликвоте исследуемого раствора объёмом 0,5 мл добавляли 0,5 мл 0,1 %-го спиртового раствора резорцина и 1,5 мл 30 %-го раствора HCl. Смесь перемешивали и ставили на кипящую водяную баню на 8 минут, после чего измеряли оптическую плотность на длине волны 490 нм с длиной оптического пути 10 мм. Контролем служила проба, в которой исследуемый раствор был заменён дистиллированной водой, количественно концентрация определялась по уравнению калибровочной прямой, построенной с использованием серии разведений раствора фруктозы с известными концентрациями. Измерения проводились в трёх повторностях.

В качестве метода определения концентрации пероксида водорода в исследуемых образцах использовали титрование, основанное на окислении в кислой среде йодида калия пероксидом до йода, который затем оттитровывали тиосульфатом натрия. Для этого к 20 мл исследуемого раствора в трёх повторностях приливают 5 мл 10 %-го раствора йодида калия, такой же объём 10 %-го раствора серной кислоты и выдерживают в закрытой посуде без доступа света в течение 10

минут. После инкубации раствор титровали 0,1 М раствором тиосульфата натрия до обесцвечивания. Массовую долю рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{V \cdot 0,0017 \cdot 100}{20},$$

где X – массовая доля пероксида водорода в пробе, V – объём пошедшего на титрование тиосульфата натрия. Полученную массовую долю пересчитывали на абсолютное содержание в мкг/мл.

Ультрафильтрация

Для разделения водного раствора мёда на фракции с молекулами различной массы был применён метод ультрафильтрации с использованием мембраны марки Vivaflow 200, пропускающей молекулы с массой до 5 кДа. Полученный фильтрат содержал большое количество низкомолекулярных соединений, в т.ч. фенолы, углеводы, витамины и пептиды. В растворе определяли концентрацию пептидов, содержание углеводов по кетозам и перекиси водорода теми же методами, что обозначены выше.

Ионообменная хроматография и гель-фильтрация

Для выделения пептидной фракции и очистки её от углеводов и других низкомолекулярных примесей применялся метод ионообменной хроматографии на микрокристаллической ДЭАЭ-целлюлозе. Элюцию осуществляли ступенчатым градиентом с использованием 0,2 М ТРИС-НСl (рН = 10) в качестве начального буферного раствора и 0,2 М Na-цитратный (рН = 6) в качестве конечного. Размеры колонки составили 6×1,5 см, объём наносимой пробы – 500 мкл, объём собираемых фракций – 1,5 мл, скорость элюции – 30 мл/час. Смену буферного раствора производили после сбора седьмой фракции. Контроль концентрации белковых веществ во фракциях осуществлялся методом Лоури, за концентрацией углеводов наблюдали по содержанию кетоз фотоколориметрически с резорцином в кислой среде.

Полученные фракции, содержащие очищенные от углеводов и других примесей пептиды, были соединены и очищены от солей буферного раствора с помощью гель-фильтрации на сефадексе G-25 (элюция велась дистиллированной водой, контроль содержания белка во фракциях спектроскопически по оптической плотности на длине волны 280 нм, объём наносимой пробы – 1 мл, скорость элюции – 40 мл/час, объём собираемых фракций – 2 мл, размер колонки – 15×2 см). Очищенная смесь пептидов пчелиного мёда с молекулами массой до 5 кДа в конечной концентрации 200 и 100 мкг/мл использовалась для определения антибактериальной активности с использованием тестовых культур микроорганизмов.

Микроорганизмы и определение антибактериальной активности

В качестве тестовых микроорганизмов для определения антибактериальной активности диско-диффузионным методом использовались *Staphylococcus aureus* (культура высеяна из брюшной полости больного перитонитом), *Escherichia coli* (культура высеяна у больного хроническим пиелонефритом), *Pseudomonas aeruginosa* (высеяна с раневой поверхности) и *Salmonella enteritidis* (культура высеяна у больного энтеритом), культивируемые на агаре Мюллера-Хилтона. Больные, от

которых были получены бактериальные культуры, длительное время принимали антибиотики без выраженного клинического улучшения, поэтому высеянные штаммы сформировали устойчивость к антибиотикам.

После нанесения на питательную среду инокулята тестовой культуры на поверхность среды помещали по 5 стерильных бумажных дисков ($d = 9$ мм) на одну чашку Петри, пропитанных либо водным раствором пептидной фракции пчелиного мёда с концентрацией 200 или 100 мкг/мл в объёме 10 мкл на каждый диск, либо 10 мкл раствора мёда обоих типов, содержащих молекулы массой до 5 кДа, а также 50 %-й раствор мёда обоих образцов в качестве позитивного контроля, после чего прижимали стерильным пинцетом, а затем помещали в термостат для инкубации при температуре 35–37 °С на 24 часа. По прошествии срока оценивали диаметр зоны задержки роста вокруг диска за вычетом его собственного диаметра. Работа по определению антибактериальной активности была проведена на базе бактериологической лаборатории ГБУЗ «Кузнецкая межрайонная детская больница».

Статистическая обработка полученных данных проводилась путём расчёта ошибки среднего арифметического в ПО LibreOffice Calc.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 и в табл. 1 представлены результаты определения концентрации пептидов, углеводов по кетозам и пероксида водорода в исследуемых образцах. Контроль определяемых параметров важен с точки зрения оценки эффективности используемой комбинации методов. Анализ полученных данных позволяет заключить, что достигаемая степень очистки является приемлемой для целей проведённого эксперимента.

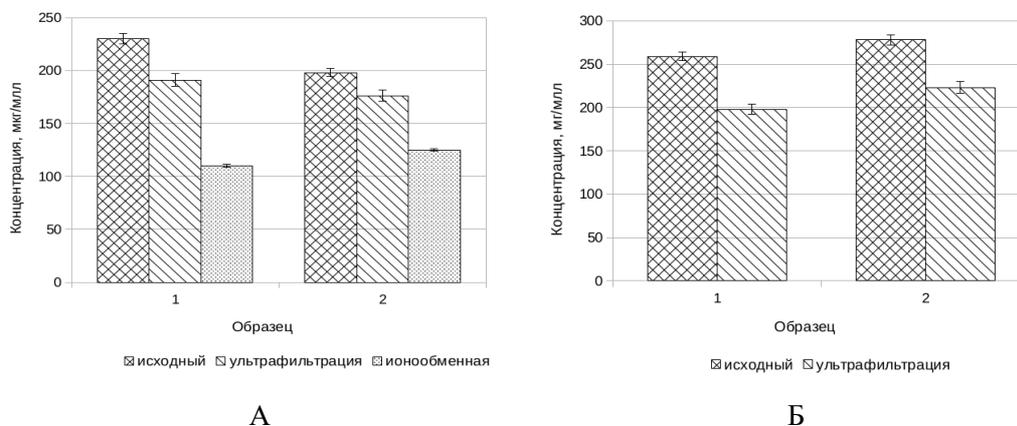


Рис. 1. Сравнение концентрации пептидов и кетоз в исследуемых пробах. А — сравнение концентрации пептидов в исходном растворе, растворе после ультрафильтрации и пиковой концентрации в десорбированной фракции после ионообменной хроматографии. Б – сравнение концентрации углеводов по кетозам в исходном растворе и после ультрафильтрации (в пиковой фракции ионообменной хроматографии углеводов не обнаружено).

Таблица 1.

Концентрация пероксида водорода в исследуемых растворах

Образец	Тип раствора	
	Исходный 50 %-й	После ультрафильтрации
Образец 1	6,65±0,07	1,57±0,03
Образец 2	2,44±0,02	-

На рис. 2 изображена типичная хроматограмма разделения и очистки пептидов раствора мёда с массой молекул до 5 кДа на ДЭАЭ-целлюлозе.

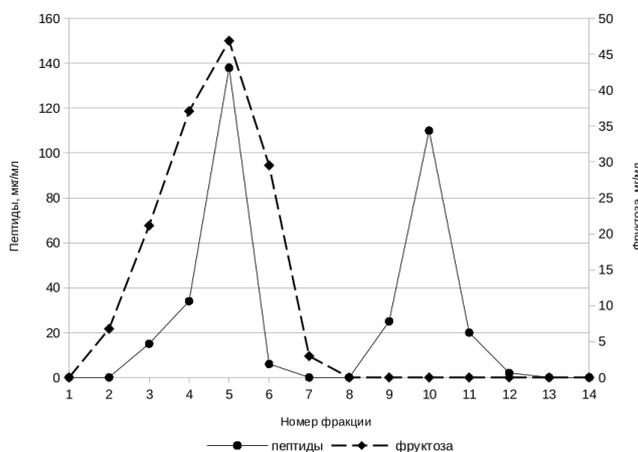


Рис. 2. Хроматограмма разделения пептидов от низкомолекулярных примесей на ДЭАЭ-целлюлозе.

Отчётливо видны два пика, соответствующие профилю элюции пептидных веществ. Первый пик характеризует несорбировавшиеся на ионообменнике пептиды, вышедшие в свободном объёме колонки вместе с углеводами и другими низкомолекулярными примесями, второй пик соответствует очищенным пептидам, десорбировавшимся после смены буферного раствора. Как видно из хроматограммы, количество сорбировавшихся на носителе пептидов примерно равно количеству несвязавшихся пептидов, вышедших в свободном объёме колонки. Объяснить наблюдаемое явление можно, предположив, что исследуемый раствор мёда с молекулами массой меньше 5 кДа содержит в своём составе смесь пептидных молекул разнообразного строения, что объясняет их разное сродство к носителю. При уменьшении объёма наносимого на хроматографическую колонку исследуемого раствора не наблюдалось существенных изменений в соотношении высоты двух пиков, что исключает влияние ёмкости ионообменника на разделение, т. е. при существующих условиях хроматографирования соотношение высот двух пиков на хроматограмме определяется составом разделяемой смеси веществ, а не

переполнением носителя. Различий в характере разделения пептидов между исследуемыми образцами мёда обнаружено не было.

После проведения ионообменной хроматографии фракции 9, 10 и 11 были объединены и очищены от солей буферного раствора с помощью гель-фильтрации на сефадексе G-25. Хроматограмма этого процесса представлена на рис. 3, где видно некоторое разделение общего пика, характеризующего смесь очищенных пептидов мёда (контроль наличия цитрат-иона во фракциях осуществлялся качественной реакцией на помутнение с $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Полученные данные свидетельствуют о том, что очищенная фракция является смесью пептидов различной природы, однако при данных условиях хроматографирования разделить их не представляется возможным. Фракции с 6 по 12, содержащие максимальную концентрацию пептидных продуктов, объединили в одну и приготовили образцы для определения антибактериальной активности с концентрацией 200 и 100 мкг/мл.

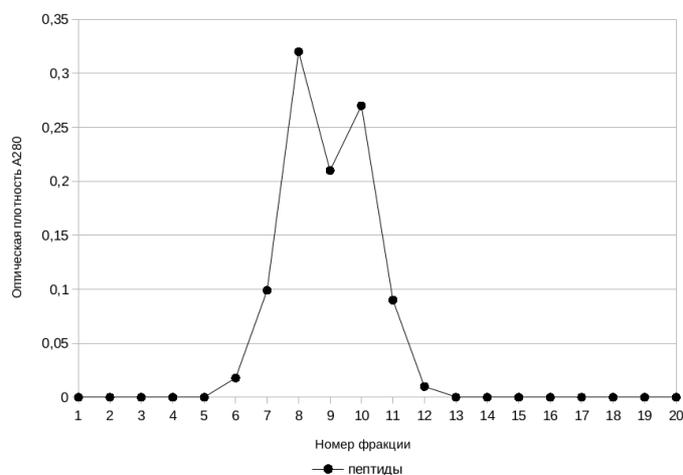


Рис. 2. Профиль элюции смеси пептидов на сефадексе G-25

Результаты оценки антагонистической активности исследованных растворов мёда и пептидных фракций против использованных штаммов тестовых культур представлены в таблице 2. Из полученных данных следует, что антибактериальный эффект понижается с разбавлением раствора мёда, т. е. исходный 50 %-й раствор обоих образцов обладает максимальной антимикробной активностью, причём образец 1 обладает наибольшей активностью против микроорганизмов за счёт повышенного содержания пероксида водорода. Меньшая активность проявляется в случае образцов после ультрафильтрации, что объясняется разбавлением раствора, при котором происходит понижение концентрации углеводов, которая является определяющим фактором антибактериальной активности мёда при относительно больших концентрациях за счёт оказания высокого осмотического давления [8], а также наличия пероксида водорода в сравнительно высоких концентрациях. Наличие антибактериальной активности даже в разбавленном после ультрафильтрации растворе мёда можно объяснить присутствием в составе

пероксида водорода, который является доминирующим антибактериальным фактором, повышение активности которого наблюдается при понижении концентрации углеводов и повышении доли растворителя в растворе за счёт активации ферментных систем [9], даже не смотря на понижение концентрированности раствора и инактивации ферментных систем, производящих пероксид, за счёт изменения его коллоидной структуры [10].

Таблица 2.
Результаты определения антибактериальной активности исследуемых образцов пептидов и растворов пчелиного мёда

Испытуемый образец	Бактериальная культура			
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Salmonella enteritis</i>
	Величина зоны задержки роста, мм			
Пептидная фракция, образец 1, 200 мкг/мл	1±1	0	0	0
Пептидная фракция, образец 1, 100 мкг/мл	0	0	0	0
Образец 1 после ультрафильтрации	3±1	2±0,75	3±1	1±0,5
Образец 1, 50%-й раствор	10±2	3±1	10±2	2±1
Пептидная фракция, образец 2, 200 мкг/мл	0	0	2±1	0
Пептидная фракция, образец 2, 100 мкг/мл	0	0	0	0
Образец 2 после ультрафильтрации	2±1	1±1	1±1	2±1
Образец 2, 50%-й раствор	5±1	4±0,75	3±1	2±1

Как следует из полученных данных, исследованные пептидные фракции обоих образцов пчелиного мёда, содержащие в своём составе молекулы массой менее 5 кДа, не показали антибактериальной активности против использованных штаммов тестовых культур. Вероятность потери пептидами антибактериальной активности во время процесса их выделения и очистки можно исключить, т. к. использованные методы не предполагают применение каких-либо агрессивных воздействий на исследуемые растворы, а значит, отсутствие антагонистической активности можно

объяснить тем, что в составе полученных фракций не содержится низкомолекулярных антимикробных пептидов.

На сегодняшний день в исследованиях *in vitro* продемонстрированы антибактериальные свойства нескольких белковых молекул мёда, однако их масса выше 5 кДа. На основании как полученных нами, так и литературных данных, можно сказать, что в мёде не содержится низкомолекулярных пептидов, проявляющих антимикробную активность [11, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

Во-первых, из двух исследованных образцов мёда наибольшей антибактериальной активностью обладает раствор тёмного сорта – гречишный. Наши экспериментальные данные подтверждают ту связь, которая существует между повышенной концентрацией пероксида водорода в составе мёда и величиной его антибактериальной активности. Более низкая активность светлого сорта мёда – смешанного происхождения – объясняется пониженным по сравнению с гречишным мёдом содержанием пероксида водорода. В обоих случаях 50 %-х растворов в основном антибактериальный эффект оказывается за счёт высокой концентрации углеводов, т. е. их высокого осмотического давления.

Во-вторых, при разбавлении, которое происходит при ультрафильтрации исходного раствора мёда, в обоих случаях наблюдается понижение антибактериальной активности в отношении тестовых культур за счёт понижения концентрации углеводов, однако некоторый уровень активности остаётся вследствие наличия в образцах пероксида водорода и всё ещё большого содержания углеводов.

В-третьих, исследованные пептидные фракции пчелиного мёда не продемонстрировали ожидаемый антибактериальный эффект в следствие отсутствия в их составе антимикробных пептидов массой менее 5 кДа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90050

Список литературы

1. Cianciosi D. Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review / D. Cianciosi, T. Yuliett Forbes-Hernández, S. Afrin, M. Gasparri, P. Reboledo-Rodríguez, P. Pia Manna, J. Zhang, L. Bravo Lamas, S. Martínez Flórez, P. Agudo Toyos, J. L. Quiles, F. Giampieri, M. Battino // *Molecules*. – 2018. – № 23(9). – С. 20.
2. Генгин М. Т. Перспективный метод оценки качества мёда / М. Т. Генгин, С. В. Клычков, В. Б. Соловьев, Г. А. Карпова // *Пчеловодство*. – 2017. – №2. – С. 51–52.
3. Mandal M. D. Honey: its medicinal property and antibacterial activity / M. D. Mandal, S. Mandal // *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. – 2011. – №1(2). – С. 154–160.
4. APD3 Search // Antimicrobial Peptide Database. URL: <https://aps.unmc.edu> (дата обращения: 16.09.2021).
5. Kwakman P. H. S. How honey kills bacteria / P. H. S. Kwakman, A. A. te Velde, L. de Boer, D. Speijer, C. M. J. E. Vandenbroucke-Grauls, S. A. J. Zaat // *The FASEB Journal*. – 2010. – №24. – С. 2576–2582.

6. Lowry O. H. Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry, N. J. Rosebrought, A. G. Farr, R. J. Randall // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193, №1. – P. 265–275.
7. Филиппович Ю. Б. Практикум по общей биохимии: Учеб. пособие для студентов хим. спец. пед. ин-тов / Ю. Б. Филиппович, Т. А. Егорова, Г. А. Севостьянова. – М: Просвещение, 1982. – 311 с.
8. Molan P. Honey: A Biologic Wound Dressing / P. Molan, T. Thodes // Wound. – 2015. – Vol. 6, №27. – P. 141–151.
9. Brudzynski K. Active macromolecules of honey form colloidal particles essential for honey antibacterial activity and hydrogen peroxide production / K. Brudzynski, D. Miotto, L. Kim, C. Sjaarda, L. Maldonado-Alvarez, H. Fukś // Scientific Reports. – 2017. – №7. – 7637.
10. Brudzynski K. A current perspective on hydrogen peroxide production in honey. A review / Brudzynski K. // Food Chemistry. – 2020. – Vol. 332. – P. 127229
11. Brudzynski K. Honey Glycoproteins Containing Antimicrobial Peptides, Jelleins of the Major Royal Jelly Protein 1, Are Responsible for the Cell Wall Lytic and Bactericidal Activities of Honey / K. Brudzynski, C. Sjaarda // PLOS One. – 2015. – 10(4). – P. 230–238.
12. Bilikova K. Major royal jelly proteins as markers of authenticity and quality of honey / K. Bilikova, T. Kristof Krakova, K. Yamaguchi, Y. Yamaguchi // Arh Hig Rada Toksikol. – 2015. – №66. – С. 259–267.

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF BEE HONEY AND ITS PEPTIDE FRACTIONS

Klychenkov S. V.¹, Kruchinina A. D.¹, Bichurina L. A.²

¹*Penza State University, Penza, Russia*

²*Kuznetsk Interdistrict Children's Hospital, Kuznetsk, Russia*

E-mail: 79048510599@ya.ru

Recently, the problem of bacteriological resistance has become more and more urgent. The antibiotics used in medical practice are constantly becoming obsolete due to the acquisition of resistance by pathogenic microorganisms, therefore there is an ever-increasing need to search for new antimicrobial drugs of various nature. A promising line of research in this area is the study of the antibacterial activity of protein molecules. Over the past two decades, a lot of data has accumulated showing the wide distribution of antimicrobial peptides among almost all living organisms.

This article studied the antibacterial activity of peptide fractions weighing less than 5 kDa obtained from honey of two varieties - buckwheat and mixed origin, as well as the similar activity of various solutions of the same honey samples. The following methods were sequentially applied for isolation and purification of peptide fractions: ultrafiltration - to obtain a solution containing molecules with a mass of less than 5 kDa; ion exchange chromatography on DEAE-cellulose for purification of the peptide fraction from low molecular weight impurities (carbohydrates, pigments, phenols, etc.) and gel filtration on Sephadex G-25 to desalt the obtained peptide fraction from the buffer solution. Determination of antibacterial activity was carried out using the disk diffusion method with antibiotic-resistant strains of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella enteritis* obtained from patients with various bacterial

infections in chronic and acute forms. In the studied samples, the concentration of peptides, carbohydrates in ketosis and hydrogen peroxide was measured.

The results obtained indicate that among the studied solutions of honey, buckwheat has the highest antibacterial activity, which is associated with an increased content of hydrogen peroxide. The study of the antagonistic activity of peptide fractions against test cultures showed that low molecular weight peptides obtained from the studied honey samples do not have an antibacterial effect against the used strains of microorganisms. Apparently, this is due to the absence of low molecular weight antimicrobial peptides in the obtained fractions. Probably, antimicrobial peptides weighing less than 5 kDa are completely absent in bee honey.

Keywords: honey, honey peptides, antimicrobial peptides, antimicrobial activity.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-34-90050

References

1. Cianciosi, D., Yuliett Forbes-Hernández T., Afrin S., Gasparrini M., Reboredo-Rodriguez P., Pia Manna P., Zhang J., Bravo Lamas L., Martínez Flórez S., Agudo Toyos P., Quiles J. L., Giampieri F., Battino M., Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review, *Molecules*, **23**(9), 20 (2018).
2. Gengin M. T. Klychenkov S. V., Solovev V. B., Karpova G. A., A promising method for assessing the quality of honey, *Pchelovodstvo*, **2**, 51 (2017).
3. Mandal M. D., Mandal S. Honey: its medicinal property and antibacterial activity, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **1**(2), 154 (2011).
4. *APD3 Search*, Antimicrobial Peptide Database. URL: <https://aps.unmc.edu> (Visiting date: 16.09.2021).
5. Kwakman P. H. S., te Velde A. A., de Boer L., Speijer D., Vandenbroucke-Grauls C. M. J. E., Zaat S. A. J., How honey kills bacteria, *The FASEB Journal*, **24**, 2576 (2010).
6. Lowry O. H., Rosebrought N. J., Farr A. G., Randall R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, **1**, 265 (1951).
7. Filippovich Yu. B. *Workshop on General Biochemistry*, 311 (Moscow: Prosveshie, 1982).
8. Molan P., Thodes T. Honey: A Biologic Wound Dressing, *Wound*, **6**, **27**, 141 (2015).
9. Brudzynski K., Miotto D., Kim L., Sjaarda C., Maldonado-Alvarez L., Fukás H. Active macromolecules of honey form colloidal particles essential for honey antibacterial activity and hydrogen peroxide production, *Scientific Reports.*, **7**, 7637 (2017).
10. Brudzynski K. A current perspective on hydrogen peroxide production in honey. A review, *Food Chemistry*, **332**, 127229 (2020).
11. Brudzynski K., Sjaarda C. Honey Glycoproteins Containing Antimicrobial Peptides, Jelleins of the Major Royal Jelly Protein 1, Are Responsible for the Cell Wall Lytic and Bactericidal Activities of Honey, *PLOS One*, **10**(4), 230 (2015).
12. Bilikova K., Kristof Krakova T., Yamaguchi K., Yamaguchi Y. Major royal jelly proteins as markers of authenticity and quality of honey, *Arh Hig Rada Toksikol.*, **66**, 259 (2015).

УДК 631.417

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-112-126

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ОСТРОВНЫХ ЭКОСИСТЕМ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Кулагина В. И., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Александрова А. Б.

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru*

Определены запасы органического углерода в почвах островов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища в слое 0–20 см. При расчетах учитывалось суммарное содержание углерода в органометаллических, органоминеральных и минеральных горизонтах. Установлено, что самое высокое содержание углерода в слое 0–20 см наблюдается в профиле болотно-подзолистых почв – 51,7 т/га. Самое низкое содержание органического углерода отмечено в песчаных наносах – 3,8 т/га. Расчет общих запасов углерода в почвенных контурах проведен на основе полигональной векторной почвенной карты островов. Показано, что с учетом площадей, занимаемых почвами разных типов и подтипов на островах водохранилища, самый большой вклад в запасы органического углерода вносят аллювиальные лугово-болотные и дерново-подзолистые почвы. Общий запас органического углерода в слое 0–20 см на островах исследованного участка водохранилища составляет 49190,9 т.

Ключевые слова: почвы островов, декарбонизация, органический углерод, гумус, острова водохранилищ, органометаллические горизонты.

ВВЕДЕНИЕ

Принятие в 2021 г. Федерального Закона «Об ограничении выбросов парниковых газов» [1] и предполагаемое введение в действие в ближайшие годы Европейским Союзом углеродного налога на импортные товары делают все более актуальной проблему учета объемов поглощения углерода на территории РФ.

В складывающейся ситуации желательно получить как можно более объективные данные о запасах углерода в различных экосистемах и компонентах экосистем, так как поглощение углерода рассчитывается по разнице между установленными запасами углерода через определенный промежуток времени. Согласно «Методическим указаниям по количественному определению объема поглощения парниковых газов» [2], утвержденных распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р, повторное обследование проводится примерно через 5 лет. Для объективной картины необходимо учесть поглощение углерода разными экосистемами и их компонентами, каким бы незначительным на первый взгляд не казался их вклад в декарбонизацию, включая и те экосистемы, которые пока вообще не учитываются в расчетах.

Острова равнинных водохранилищ с их почвами, вряд ли кажутся

первоочередным объектом учета при декарбонизации, однако они имеют достаточно большую суммарную площадь [3–7]. Почвенный покров островов, находясь в транзитном ландшафте, претерпевает очень быстрые эволюционные изменения, связанные, в том числе, с накоплением органического углерода при усилении степени гидроморфизма [4, 5].

Целью работы было оценить запасы органического углерода в почвах островов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища в слое 0–20 см, а также определить, почвы какого типа вносят наибольший вклад в депонирование углерода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе проведена оценка запасов углерода в почвенном покрове островов, находящихся в акватории Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан, Россия): от моста Зеленодольск – Нижние Вязовые (55°49'27.1"N; 48°31'05.6"E) до островов в районе с. Тетеево (55°24'11.8"N; 49°07'59.6"E) (рис. 1).

Уровень воды в данном районе водохранилища контролируется работой двух ГЭС Жигулёвской и Чебоксарской и характеризуется значительными годовыми колебаниями от 48,6 м до 53,5 м над уровнем моря при нормальном подпорном уровне (НПУ) в 53 м [8].

На исследованной территории расположено 158 островов и 5 полуостровов – бывших островов, соединённых насыпью с берегом (рис. 1). Суммарная площадь объектов при НПУ составляет 2669 га, из которых 73 острова имеют площадь менее 2 га, 51 остров – от 2 до 10 га, 31 остров от 10 до 100 га, и 8 островов имеют площадь более 100 га.

Обследование почвенного покрова островов проведено в 2018–2019 гг. Всего исследовано 45 островов и 2 полуострова пойменного генезиса и 20 островов террасового генезиса, заложено 97 почвенных разрезов (табл. 1).

Отбор образцов осуществлён по генетическим горизонтам почв согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 [9]. Благодаря точной GPS-привязке точек обследования почвы островов Куйбышевского водохранилища становятся ценным объектом для учета изменений запасов органического углерода в будущем. В почвенных образцах определён гумус по Тюрину [10], в органогенных горизонтах определялась потеря при прокаливании [10]. Для полевой диагностики почв и создания почвенной карты применялась «Классификация и диагностика почв СССР» (1977) [11]. Состав почвенного покрова и почвенная карта представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Почвенный покров островов водохранилища определяется их происхождением [3, 4, 12]. Острова, занятые аллювиальными почвами, преимущественно представлены наиболее высокими участками бывшей поймы р. Волга, оставшимися выше уровня НПУ после подъема уровня воды. Зональные типы почв встречаются на островах, являющихся незатопленными участками второй надпойменной террасы (рис. 1). Часть почв оказалась в зоне подтопления, что обусловило усиление гидроморфных процессов почвообразования и, как следствие, изменение их классификационной принадлежности [5]. Также на нескольких островах

встречаются антропогенно-преобразованные почвы и относительно свежие искусственные песчаные наносы, возраст которых составляет несколько лет.

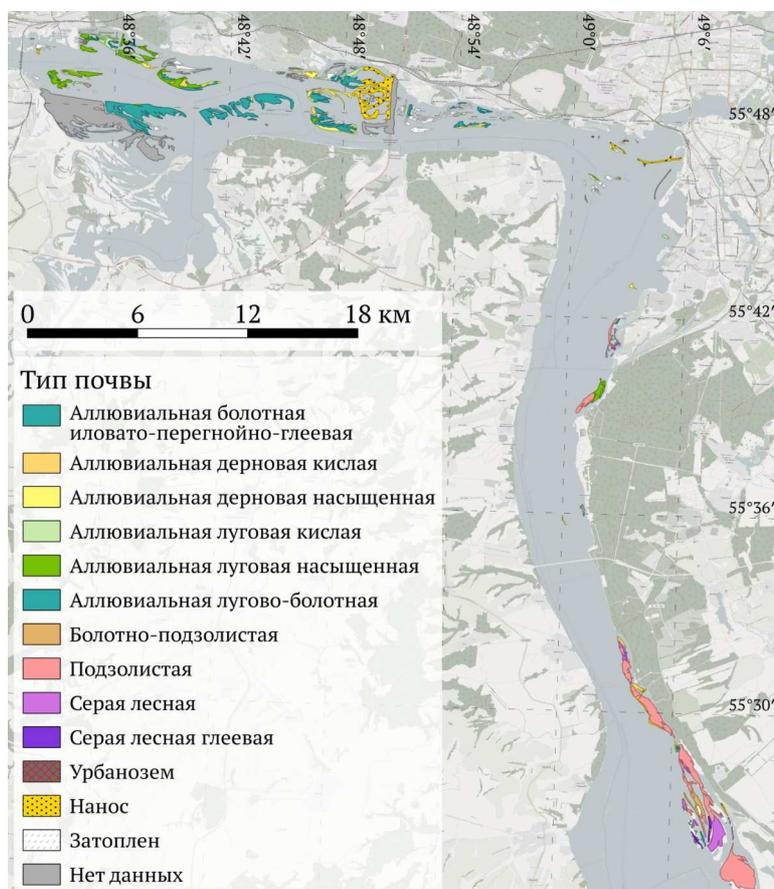


Рис. 1 Почвенная карта территории обследования.

Оценка запасов углерода в почвах островов проведена для верхнего слоя 0–20 см. На первом этапе расчет проводился отдельно для каждого генетического почвенного горизонта в пределах двадцатисантиметровой толщи. Расчет проводился по формуле:

$$C_{pool} = h * C * d \quad (1)$$

где: C_{pool} – запасы углерода, т/га; h – мощность горизонта в пределах 20 см толщи, см; C – содержание углерода в горизонте, %; d – объёмная масса, г/см³.

Далее запасы углерода в отдельных горизонтах суммировались для оценки средних запасов в профиле почв данного типа.

Кроме того, сделана попытка оценить вклад минеральных и органоминеральных (органоминеральных) горизонтов в содержание углерода в профиле почв, для чего запасы углерода в них рассчитаны отдельно. К органоминеральным и органоминеральным горизонтам были отнесены лесная подстилка, дернина, торфяной и подстильно-торфяной горизонты.

Таблица 1

Состав почвенного покрова исследованных островов

Тип почвы	Подтипы	Площадь, га
Аллювиальная дерновая кислая	оподзоленная, слоистая примитивная, собственно аллювиальная дерновая кислая	50,1
Аллювиальная дерновая насыщенная	слоистая примитивная, слоистая	130,0
Аллювиальная луговая кислая	слоистая	109,8
Аллювиальная луговая насыщенная	слоистая примитивная, слоистая, собственно аллювиальная луговая насыщенная	271,3
Аллювиальная лугово-болотная	собственно аллювиальная лугово-болотная	726,6
Аллювиальная болотная иловато-перегнойно-глеевая	аллювиальная болотная перегнойно-глеевая	5,7
Подзолистая	дерново-подзолистая	654,8
Болотно-подзолистая	дерново-подзолистая грунтово-оглеённая, дерново-подзолистая поверхностно оглеённая, торфянисто-подзолистая поверхностно оглеённая	42,4
Серая лесная	светло-серая лесная, серая лесная	131,5
Серая лесная глеевая	Серая лесная грунтово-глеевая	15,7
Урбанозем		3,3
Нанос песчаный искусственный		273,9

При обследовании почвенного покрова островов не проводилось измерение объёмной массы, поэтому расчёты запасов углерода основаны на ряде допущений, обоснованием которых служили литературные источники: объёмная масса для

гумусово-аккумулятивных горизонтов зональных почв принята равной $0,9 \text{ г/см}^3$ [13–15]; для лесной подстилки $0,1 \text{ г/см}^3$ [14, 16, 17], для торфяных и оторфованных гумусовых горизонтов – $0,15 \text{ г/см}^3$ [18]; для минеральных горизонтов лёгкого гранулометрического состава (песчаные и супесчаные) – $1,2 \text{ г/см}^3$ [17, 19,]; для всех остальных почвенных горизонтов – $1,0 \text{ г/см}^3$ [20].

Поскольку дернина является органо-минеральным горизонтом, то для нее запасы углерода рассчитаны как сумма минеральной и органической частей. В случае минеральной части средняя плотность принята равной $1,0 \text{ г/см}^3$ [21]; содержание гумуса, при отсутствии измерений, приравнялось к следующему по глубине горизонту. Запасы углерода в корневой массе дернины оценены по формуле:

$$C_{pool} = h * 100 * 0.012 * 0.4 \quad (2)$$

где: C_{pool} – запасы углерода, т/га; h – мощность горизонта в пределах 20 см толщи, см; 100 – коэффициент пересчета на объем горизонта на 1 га; 0.012 – сухая корневая масса, г/см^3 [22]; 0.4 – коэффициент пересчёта на углерод.

Расчёт общих запасов углерода в почвенных контурах проведен на основе полигональной векторной почвенной карты островов (рис. 1) по формуле:

$$C_{total} = C_{pool} * A \quad (3)$$

где C_{total} – валовые запасы углерода в почвенном контуре, т; C_{pool} – запасы углерода в слое 0–20 см для данной почвы, т/га; A – площадь почвенного контура, га.

При наличии в почвенном контуре точки обследования, физико-химические параметры точки присваивались всему контуру. При отсутствии в контуре точек обследования, значения для контура вычислялись путём пространственной интерполяции точек обследования той же типовой принадлежности методом обратновзвешанных расстояний (inverse distance weighted, IDW) с параметром степени $idp = 2$ [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы углерода в профиле почв

Проведенные исследования позволили установить, что на островах Куйбышевского водохранилища запасы органического углерода в слое 0–20 см в почвах разных типов отличались в несколько раз, а между почвами и образованиями, характеризующимися как наносы – на порядок (табл. 2).

Искусственно намывые песчаные наносы занимали значительные площади на нескольких островах и полуостровах водохранилища, например, около г. Казань и в районе п. Займище. Сформированных генетических горизонтов на момент обследования наносы не имели, хотя растительность уже распространялась на этих территориях, содержание аллохтонного гумуса составляло в среднем около 0,2 %. Запас углерода в двадцатисантиметровой толще наносов в 3 раза меньше, чем в самых бедных аллювиальных дерновых насыщенных почвах (табл. 2).

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВЕННОМ ...

Самые большие запасы органического углерода в слое 0–20 см обнаружены в болотно-подзолистых почвах (табл. 2). Строки в таблице отсортированы по средним суммарным значениям запасов углерода в толще 0–20 см.

Таблица 2

Запасы углерода в почвах островов в слое 0–20 см

Почва	Запасы углерода в органогенных и органо-минеральных горизонтах			Запасы углерода в минеральных горизонтах			Запасы углерода во всех горизонтах в слое 0–20 см		
	Mean, т/га	Range, т/га	V*, %	Mean, т/га	Range, т/га	V, %	Mean, т/га	Range, т/га	V, %
Нанос	2,4	0,5 – 3,6	67,6	2,3	1,3 – 3,8	48,8	3,8	1,3 – 5,7	42,6
Адн**	3,3	0,5 – 8,1	73,5	8,7	0 – 35,7	114,7	12,0	2,4 – 39,5	87,1
Адк	2,9	0,5 – 4,5	58,8	9,6	1,3 – 28,7	133,9	12,5	1,8 – 31,7	105,9
Урбано-зем	14,9	2,1 – 29,3	91,8	4,6	0 – 9,1	141,4	20,3	11,2 – 29,3	63,1
Л1	4,0	3,0 – 5,3	28,5	16,9	10,3 – 24,5	42,4	20,9	13,4 – 28,2	35,6
Алб	3,4	0,8 – 7,8	58,8	19,5	3,6 – 49,5	61,2	22,5	6,3 – 52,5	52,8
Аб	24,0	24,0 – 24,0	–	–	–	–	24,0	24,0 – 24,0	–
ЛГ	8,6	8,1 – 9,1	7,8	16,3	12,7 – 19,8	30,9	24,9	20,9 – 28,9	22,9
Алк	4,2	1,4 – 6,6	47,2	20,8	5,0 – 44,9	53,7	25,1	11,1 – 51,5	45,3
Алн	3,3	1,1 – 6,1	50,2	22,5	1,9 – 76,8	93,2	25,3	2,9 – 79,8	85,8
Пд	6,9	2,1 – 18,2	58,0	22,1	1,7 – 58,7	72,8	28,5	1,7 – 70,9	64,3
Л2	4,7	4,0 – 5,4	22,3	24,4	16,4 – 32,4	46,3	29,1	21,9 – 36,4	35,2
БП	22,1	14,4 – 29,6	28,3	29,6	10,1 – 74,2	64,6	51,7	29,3 – 97,0	47,4

Примечание: * V,% – коэффициент вариации;

**Почвы: Адн – аллювиальная дерновая насыщенная, Адк – аллювиальная дерновая кислая, Алн – аллювиальная луговая насыщенная, Алк – аллювиальная луговая кислая, Аб – аллювиальная болотная, Алб – аллювиальная лугово-болотная, Л1 – светло-серая лесная, Л2 – серая лесная, Пд – дерново-подзолистая, БП – болотно-подзолистая, ЛГ – серая лесная глеевая.

Значительный вклад в запасы углерода болотно-подзолистых почв островов вносят поверхностные органогенные горизонты, которые могут отличаться в зависимости от места закладки разреза: подстильно-торфяной или плотная войлочная дернина. Мощность этих горизонтов не так велика, как обычно отмечается для болотно-подзолистых почв [24].

Однако болотно-подзолистые почвы островов отличаются своеобразным генезисом. Они эволюционировали из дерново-подзолистых почв второй надпойменной террасы после заполнения чаши водохранилища водой в 1957 г., что привело к созданию на отдельных участках островов полугидроморфных условий для ранее автоморфных почв [3, 5]. В настоящее время болотно-подзолистые почвы островов продолжают эволюционировать в сторону увеличения мощности верхних органогенных горизонтов и содержания гумуса в минеральных горизонтах. Запас углерода в слое 0–20 см болотно-подзолистых почв почти в два раза выше, чем в таком же слое дерново-подзолистых почв островов (табл. 2). Запасы гумуса в дерново-подзолистых почвах островов в целом соответствовали литературным данным для почв Республики Татарстан [25, 26]. Дерново-подзолистые почвы на островах водохранилища занимали более высокие и лучше дренированные участки, и на момент обследования продолжали функционировать, как автоморфные почвы. Таким образом, запас углерода при переходе от дерново-подзолистых к болотно-подзолистым почвам возрастал по градиенту увлажнения, что согласуется с данными Минаевой Т. Ю. с соавторами [24].

Взаимосвязь запасов углерода с условиями увлажнения наблюдалась и для светло-серых лесных и серых лесных глеевых почв островов (табл. 2). Причем в этом случае верхние органогенные горизонты внесли основной вклад в увеличение запасов углерода в полугидроморфных почвах. Однако абсолютные значения запасов углерода в светло-серых и серых лесных почвах островов ниже, чем приведено в ранее опубликованных исследованиях для почв данного региона примерно в два раза [25, 26]. По-видимому, это объясняется более легким, чем в целом по республике, гранулометрическим составом большинства серых лесных почв островов Куйбышевского водохранилища, образованных на древнеаллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Волга [5].

Острова водохранилища, расположенные выше г. Казань по течению, являются незатопленными фрагментами поймы р. Волга и заняты аллювиальными почвами. Сразу после создания водохранилища почвенный покров этих островов был представлен преимущественно аллювиальными дерновыми почвами, поскольку аллювиальные болотные и большая часть луговых почв прежней поймы оказались затопленными. За 61–62 года существования водохранилища часть почв пойменных островов под влиянием подтопления приобрела признаки, позволяющие диагностировать их как аллювиальные луговые, лугово-болотные и даже аллювиальные болотные [4, 5]. Согласно проведенным расчетам, запасы углерода в слое 0–20 см возрастают со степенью увлажнения в ряду: аллювиальные дерновые < аллювиальные лугово-болотные < аллювиальные болотные почвы (табл. 2, рис. 2). Несколько выбиваются из этого ряда аллювиальные луговые почвы – в них

содержание углерода выше, чем в остальных аллювиальных почвах, возможно, потому, что часть из них все же могла сохраниться от прежней поймы.

Эволюционные процессы в аллювиальных лугово-болотных, луговых и болотных почвах островов еще не завершены. Если признаки оглеения уже проявились достаточно четко, то процессы накопления органического вещества в профиле почв продолжают и не достигли величин, характерных для почв обычных пойм [25–27]. Тем не менее, запасы органического углерода в аллювиальных лугово-болотных и аллювиальных болотных почвах островов все же вдвое выше, чем в аллювиальных дерновых. Причем, если в аллювиальных лугово-болотных почвах основной вклад в запасы органического углерода вносит содержание гумуса в минеральных горизонтах, то в болотной почве запасы углерода находились в торфяном горизонте (табл. 2).

Несколько отличались от остальных почв островов урбаноземы, как по генезису, так и по запасам гумуса. Урбаноземы, обнаруженные на нескольких небольших островах близ г. Казань, содержали в профиле строительный мусор и карбонатную щебенку. Мощность гумусового горизонта, как правило, невелика, но эти почвы имели хорошо развитую дернину и высокое содержание детрита.

Валовые запасы углерода в почвенном покрове островов

Проведенные исследования показали, что самый значительный вклад в общие запасы органического углерода внесли аллювиальные лугово-болотные почвы, которые по содержанию углерода в профиле находились только в середине списка, но зато занимали самые большие площади на островах изученного района водохранилища (табл. 3, рис. 2).

Болотно-подзолистые почвы, наоборот, несмотря на высокое содержание углерода в двадцатисантиметровой толще, с учетом площади депонировали в 14 раз меньше углерода, чем аллювиальные лугово-болотные, и в пять раз меньше, чем дерново-подзолистые. Дерново-подзолистые почвы на островах водохранилища занимали второе место и по площади, и по доле в общих запасах углерода (рис. 2). Однако, если рассматривать аллювиальные луговые насыщенные и аллювиальные луговые кислые почвы не по отдельности, а вместе, они оттеснят дерново-подзолистые почвы на третье место (табл. 3).

Площадь урбаноземов и аллювиальных болотных почв на островах водохранилища невелика, поэтому валовые запасы углерода в них ниже, чем в остальных почвах.

Довольно интересным моментом является то, что на островах пойменного происхождения больший вклад в общие запасы гумуса вносили почвы с выраженными признаками гидроморфизма в профиле – аллювиальные лугово-болотные, аллювиальные луговые. На островах террасового происхождения основная масса углерода сосредоточена в автоморфных почвах. Возможной причиной являются особенности рельефа островов разного происхождения.

Общий запас органического углерода в поверхностной двадцатисантиметровой толще почвенного покрова островов приведен в табл. 3. Около 83 % общего запаса

органического углерода на островах находился в составе гумуса минеральных горизонтов и только 17 % в составе органогенных и органо-минеральных горизонтов.

Таблица 3

Запасы углерода с учетом площади почв, т

Почва	Запасы углерода в органогенных и органо-минеральных горизонтах	Запасы углерода в минеральных горизонтах	Запасы углерода во всех горизонтах в слое 0–20 см
Аллювиальная болотная	137,2	0,0	137,2
Аллювиальная дерновая кислая	180,5	381,7	562,2
Аллювиальная дерновая насыщенная	332,6	993,3	1325,8
Аллювиальная луговая кислая	312,8	2287,1	2599,9
Аллювиальная луговая насыщенная	695,6	5946,8	6642,4
Аллювиальная лугово-болотная	2186,0	20939,9	23125,9
Болотно-подзолистая	1119,1	625,9	1745,0
Нанос	434,3	428,1	862,4
Подзолистая (дерново-подзолистая)	2066,6	6890,9	8957,5
Серая лесная	698,1	2115,9	2814,0
Серая лесная глеевая	132,6	236,0	368,6
Урбанозем	45,0	14,0	50,1
Сумма	8350,3	40859,5	49190,9

Пытаясь сопоставить запасы углерода в почвенном покрове островов с запасами в почвах других ландшафтов, мы рассчитали вероятный размах запасов органического углерода в дерново-подзолистых почвах такой же площади с учетом средних данных по Республике Татарстан [26] – он составил бы 53134–137666 т, а запас углерода в типичных болотно-подзолистых с учетом данных Минаевой Т. Ю. [24] – 1243828 т. Таким образом, запас органического углерода в почвах остров сравнительно невелик.

Несмотря на сравнительно небольшие запасы углерода в настоящем, почвенный покров островов водохранилища является весьма перспективным резервуаром для

депонирования органического углерода. Возможная углеродная емкость большинства почв не заполнена даже до средних величин. Наиболее значительный прирост запасов органического углерода следует ожидать в почвах, оказавшихся в условиях среднего и сильного подтопления и еще находящихся в процессе эволюционных изменений. Прирост запасов органического углерода возможен во всех формах, но наиболее быстрый связан с образованием и увеличением органогенных горизонтов.

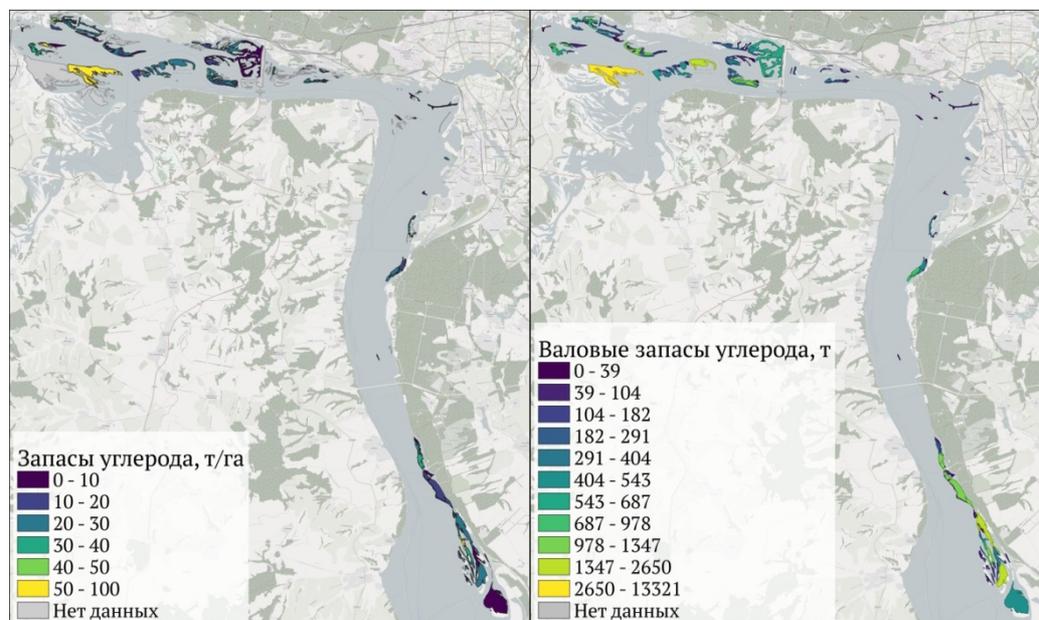


Рис. 2. Запасы углерода в почвах островов.

Если вычислить скорость накопления углерода в болотно-подзолистых, серых лесных глеевых, аллювиальных луговых и аллювиальных лугово-болотных почвах в настоящее время можно лишь косвенными способами, то накопление органогенного горизонта в аллювиальной болотной почве, без сомнений, произошло после создания водохранилища.

Скорость накопления органического углерода в аллювиальной болотной почве составила 24 т/га за 61 год существования водохранилища, то есть примерно по 390 кг углерода на 1 га каждый год, что вполне сопоставимо со скоростью накопления углерода в болотных почвах Тверской области [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена оценка запасов углерода в почвах островов Казанского района переменного подпора в слое 0–20 см. Самое высокое содержание углерода наблюдалось в профиле болотно-подзолистых почв – 51,7 т/га, из них 22,1 т/га (43 %) находилось в составе органогенных горизонтов. Запасы углерода в

двадцатисантиметровой толще дерново-подзолистых, серых лесных и аллювиальных луговых почв островов примерно вдвое меньше, чем болотно-подзолистых. Запасы углерода в профиле остальных почв еще меньше. Однако даже самые бедные аллювиальные дерновые почвы содержат в 3 раза больше органического углерода, чем песчаные наносы (12,0 т/га и 3,8 т/га соответственно).

Запасы углерода в профиле почв и доля углерода органогенных горизонтов возрастают по мере усиления гидроморфизма в рядах: 1) дерново-подзолистые почвы < болотно-подзолистые; 2) светло-серые лесные < серые лесные глеевые; 3) аллювиальные дерновые < аллювиальные лугово-болотные < аллювиальные болотные почвы.

Рассчитаны общие запасы органического углерода в почвах островов с учетом площадей, занимаемых отдельными почвами. Общий запас органического углерода в слое 0–20 см на островах исследованного участка водохранилища составляет 49190,9 т. Показано, что самый большой вклад в запасы органического углерода вносят аллювиальные лугово-болотные и дерново-подзолистые почвы.

Обоснованные данные по скорости накопления органического углерода получены только для аллювиальных болотных почв, органогенный горизонт которых сформировался уже после создания водохранилища – 390 кг/га в год.

Почвы, находящиеся в условиях подтопления, являются наиболее перспективными резервуарами для депонирования органического углерода из парниковых газов.

Благодаря проведенным исследованиям с использованием точной GPS-привязки почвенных разрезов почвы островов становятся очень ценным объектом для наблюдения за скоростью накопления органического углерода, объемом поглощения парниковых газов и увеличения запасов органического углерода.

Список литературы

1. Федеральный Закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» № 296-ФЗ от 02. 07. 2021.
2. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов Утверждены распоряжением Минприроды России от 30. 06. 2017 N 20-р.
3. Экологические системы островов Куйбышевского водохранилища. Казанский район переменного подпора. – Казань: Издательство «Фэн», 2002. – 360 с.
4. Кулагина В. И. Эволюция почв пойменных островов Куйбышевского водохранилища / В. И. Кулагина, С. С. Рязанов, А. Б. Александрова, Л. М. Сунгатуллина, А. М. Хисамова, Э. Х. Рупова // Геология, география и глобальная энергия. – 2019. – Т. 3, № 74. – С. 67–76.
5. Кулагина В. И. Почвы террасовых островов равнинных водохранилищ / В. И. Кулагина, С. С. Рязанов, А. Б. Александрова, Л. М. Сунгатуллина, Р. Р. Шагидуллин // Геология, география и глобальная энергия. – 2020. – № 3 (78). – С. 54–63.
6. Айсина Н. Р. Аллювиальные почвы Самарской Луки – эталон пойменного почвообразования в Среднем Поволжье / Н. Р. Айсина, Е. В. Абакумов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2009. – Т. 18, №3. – С. 98–103.
7. Проказов М. Ю. Анализ ландшафтной дифференциации и проблем рационального природопользования на островах северной части Волгоградского водохранилища / М. Ю. Проказов. // Известия Саратовского университета. Серия Науки о Земле. – 2011. – Т. 11, Вып. 1. – С. 3–12.
8. Изменения уровней водохранилищ ГЭС РусГидро [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/>, свободный.

9. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
10. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества.
11. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
12. Рязанов С. С. Ландшафтные особенности развития почвенного покрова пойменных островов Куйбышевского водохранилища / С. С. Рязанов, В. И. Кулагина, Д. В. Иванов, А. Б. Александрова // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. – 2019. – Т. 4, № 2. – DOI: 10.21685/2500-0578-2019-2-2.
13. Верин А. Ю. Экологическое состояние почвы в системе «почва – лесные насаждения» / А. Ю. Верин, И. Ф. Медведев // *Известия Саратовского университета Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. – 2020. – Т. 20, вып. 2. – С. 226–231. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231>.
14. Газизуллин А. Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т.1. Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства / А. Х. Газизуллин – Казань: РИЦ «Школа», 2005. – 496 с.
15. Мосина Л. В. Изменение плотности почвы в лесных экосистемах под воздействием рекреационных нагрузок / Л. В. Мосина // *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*. – 2012. – № 3. – С. 122–127.
16. Волков А. Г. Лесная подстилка в парцеллах ельников северной подзоны тайги / А. Г. Волков // *Лесной журнал*. – 2015. – №2. – С. 63–69.
17. Ильинцев А. С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании / А. С. Ильинцев, А. П. Богданов, Ю. С. Быков // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2019. – № 5 (371). – С. 70–82. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70.
18. Моторин А. С. Воднофизические свойства торфяных маломощных почв Северного Зауралья / А. С. Моторин // *Аграрный вестник Урала*. – 2016. – № 9 (151). – С. 37–41.
19. Каргин В. И. Физические и агрохимические свойства аллювиальных почв под многолетними травами и картофелем / В. И. Каргин, Н. Н. Иванова, А. В. Сальникова // *Аграрный научный журнал*. – 2019. – № 1. – С. 9–15. DOI: 10.28983/asj.v0i1.689.
20. Демаков Ю. П. Вариабельность плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, Н. Б. Нуреев // *Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*. – 2017. – № 8. – С. 44–55.
21. Асямов В. С. Многолетние травы для создания газонов в условиях Западной Сибири / В. С. Асямов, А. Ф. Степанов, Н. А. Бондаренко // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. – 2016. – № 2 (22). – С. 66–71.
22. Куркин К. А. Дернообразующие виды луговых трав, динамика дернины, ее влияние на увлажнение и аэрацию почвы (в связи с теорией дернового процесса) / К. А. Куркин // *Ботанический журнал*. – 2009. – Т. 84, №11. – С. 1614–1624.
23. McBratney A. B. On digital soil mapping / McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. // *Geoderma*. – 2003. – Vol. 117. – No. 1-2. – P. 3–52. – DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
24. Минаева Т. Ю. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем Южного Валдая в голоцене / Т. Ю. Минаева, С. Я. Трофимов, О. А. Чичагова, Е. И. Дорофеева, А. А. Сирин, И. В. Глушков, Н. Д. Михайлов, Б. Кромер // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. – 2008. – № 5. – С. 607–616.
25. Винокуров М. А. Гумус почв Волжско-Камской лесостепи и его роль в плодородии / М. А. Винокуров, А. В. Колоскова, Г. И. Сперанская, К. Ш. Шакиров. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1972. – 132 с.
26. Александрова А. Б. Динамика содержания гумуса и его запасов в почвах Республики Татарстан / А. Б. Александрова, Д. В. Иванов, В. В. Маланин, Р. Р. Хасанов, А. А. Марасов, Э. Е. Паймикина, Э. Х. Рупова // *Российский журнал прикладной экологии*. – 2015. – №3. – С. 13–17.
27. Фаткуллин А. Ш. Почвы пойм малых рек Татарии / А. Ш. Фаткуллин – Казань: Изд-во Казанского университета, 1968. – 303 с.

ESTIMATION OF ORGANIC CARBON STOCKS IN THE SOIL COVER OF ISLAND ECOSYSTEMS OF THE KUIBYSHEVSK WATER RESERVOIR

Kulagina V. I., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Alexandrova A. B.

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

Assessment of organic carbon stocks in soils and other components of ecosystems are becoming increasingly important as a necessary reference point for a reliable determination of the amount of greenhouse gas removals at country scale. The gradual tightening of carbon balance requirements dictates the urgency of the problem under consideration.

The aim of the work was to assess the stocks of organic carbon in the soils of the islands of the Kazan region of the variable backwater of the Kuibyshev reservoir in the 0–20 cm layer, and also to determine which type of soils makes the greatest contribution to the sequestration of carbon.

The reserves of organic carbon in the soils of the islands of the Kuibyshev water reservoir were determined in the area from the Zelenodolsk – Nizhnie Vyazovye bridge (55°49'27.1 "N; 48°31'05.6"E) to the islands in front of the Teteyevo village (55°24'11.8 "N; 49°07'59.6" E). Surveys of the islands' soil cover and selection of the soil samples were carried out in 2018-2019. The calculation of the organic carbon content was carried out for the 0–20 cm layer. The calculations took into account the total carbon content in the organogenic, organic-mineral and mineral horizons. It was found that the highest carbon content in the upper soil layer was observed in the profile of marsh-podzolic soils – 51.7 t / ha. The lowest organic carbon content was noted in sod-alluvial soils (12.0 t / ha) and artificial sandy deposits (3.8 t / ha).

Carbon stocks in soil profiles and proportion of carbon in organogenic horizons increased with increasing of hydromorphic properties in the following row: 1) sod-podzolic soil < marsh-podzolic soil; 2) light gray forest soil < gray forest gley soil; 3) sod-alluvial soil < alluvial meadow-marsh soil < marsh-alluvial soil.

The total reserves of organic carbon in the islands' soils were calculated taking into account the areas occupied by individual soil contours. The total stock of organic carbon in the 0–20 cm layer of the studied area of the water reservoir was 49,190.9 tons. About 83 % of the total stock of organic carbon stored in the form of humus of accumulative mineral horizons and only 17 % in the organogenic and organic-mineral horizons. It was shown that alluvial meadow-marsh (23,125.9 t) and sod-podzolic soils (8,957.5 t), occupying the largest areas on the territory of the islands, make the largest contribution to the organic carbon reserves. An interesting point is that on the islands of floodplain origin, a greater contribution to the total humus reserves was made by soils with pronounced hydromorphic properties – alluvial meadow-marsh soils and alluvial meadow soils. On the islands of terrace origin, the bulk of carbon was concentrated in automorphic soils. A possible reason is the features of the islands' relief of different origins.

Reasonable data on the rate of organic carbon accumulation were obtained only for alluvial marsh soils, the organogenic horizon of which was formed after the creation of the reservoir – 390 kg / ha annually.

Flooded soils are the most promising reservoirs for organic carbon deposition from greenhouse gases.

Thanks to the research carried out using accurate GPS referencing of soil profiles, the islands' soils are becoming a very valuable object for monitoring the rate of organic carbon accumulation, the volume of absorption of greenhouse gases and the increase in total organic carbon stocks.

Keywords: island soils, decarbonization, organic carbon, humus, reservoir islands, organogenic horizons.

References

1. Federal Law "On limiting greenhouse gas emissions" No. 296-FZ dated 02.07.2021.
2. Guidelines for quantifying the volume of absorption of greenhouse gases. Approved by the order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017 N 20-p.
3. *Ecological systems of the islands of the Kuibyshev reservoir. Kazan region of variable backwater.* 360. (Publishing house "Fen", Kazan, 2002).
4. Kulagina V. I., Ryazanov S. S., Alexandrova A. B., Sungatullina L. M., Khisamova A. M., Rupova E. H. Evolution of soils of the floodplain islands of the Kuibyshev reservoir. *Geology, Geography and Global Energy.* **3(74)**, 67 (2019).
5. Kulagina V. I., Ryazanov S. S., Aleksandrova A. B., Sungatullina L. M., Shagidullin R. R. Soils of terraced islands of plain reservoirs. *Geology, Geography and Global Energy.* **3 (78)**, 54 (2020).
6. Aisina N. R., Abakumov E. V. Alluvial soils of Samara Luka - the standard of floodplain soil formation in the Middle Volga region. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, **18, 3**, 98. (2009).
7. Prokazov M. Yu. Analysis of landscape differentiation and problems of rational nature management on the islands of the northern part of the Volgograd reservoir, *Bulletin of the Saratov University. Earth Science Series*, **11, 1**, 3 (2011).
8. Changes in the levels of reservoirs of HPPs RusHydro [Electronic resource]. Access mode: <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/>, free (2021).
9. GOST 17.4.3.01-83 Nature protection. Soils. General requirements for sampling.
10. GOST 26213-91 Soils. Methods for the determination of organic matter.
11. *Classification and diagnostics of soils in the USSR.* 224. (Kolos, Moscow, 1977).
12. Ryazanov S. S., Kulagina V. I., Ivanov D. V., Alexandrova A. B. Landscape features of the development of the soil cover of the floodplain islands of the Kuibyshev reservoir. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **4, 2**, 20 (2019). DOI: 10.21685 / 2500-0578-2019-2-2.
13. Verin A. Yu., Medvedev I. F. Ecological condition of soil in the system "soil - forest plantations". *Bulletin of the Saratov University New series. Chemistry series. Biology. Ecology*, **20, 2**, 226 (2020) DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231>.
14. Gazizullin A. Kh. *Soil and ecological conditions for the formation of forests in the Middle Volga region. Vol. 1. Soils of the forests of the Middle Volga region, their genesis, taxonomy and forest growth properties.* 496 (RIC "School", Kazan, 2005).
15. Mosina L. V. Changes in soil density in forest ecosystems under the influence of recreational loads. *Scientific Notes of the Oryol State University. Series: Natural, technical and medical sciences*, **3**, 122 (2012).
16. Volkov A. G. Forest litter in the parcels of spruce forests in the northern subzone of the taiga. *Forest Journal*, **2**, 63 (2015).
17. Ilyintsev A. S., Bogdanov A. P., Bykov Yu. S. Dynamics of physical properties of podzolic soil in felling areas with natural overgrowth. *News of higher educational institutions. Forest Journal*, **5 (371)**, 70 (2019). DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2019.5.70.

18. Motorin A. S. Water-physical properties of shallow peat soils in the Northern Trans-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*, **9** (151), 37 (2016).
19. Kargin V. I., Ivanova N. N., Salnikova A. V. Physical and agrochemical properties of alluvial soils under perennial grasses and potatoes. *Agricultural scientific journal*, **1**, 9 (2019) DOI: 10.28983 / asj.v0i1.689.
20. Demakov Yu. P., Isaev A. V., Nureyev N. B. Variability of soil composition density in forest biogeocenoses of the Middle Volga region. *Scientific works of the State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga"*, **8**, 44 (2017).
21. Asyamov V. S., Stepanov A. F., Bondarenko N. A. Perennial grasses for creating lawns in Western Siberia. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*, **2** (22), 66 (2016).
22. Kurkin K. A. Sod-forming species of meadow grasses, sod dynamics, its influence on soil moisture and aeration (in connection with the theory of sod process). *Botanical Journal*, **84**, **11**, 1614 (2009).
23. McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*, **117**, **1-2**, 3 (2003) DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
24. Minaeva T. Yu., Trofimov S. Ya., Chichagova O. A., Dorofeeva E. I., Sirin A. A., Glushkov I. V., Mikhailov N. D., Cromer B. Carbon Accumulation in Soils of Forest and Bog Ecosystems of South Valdai in the Holocene. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Biological series*, **5**, 607 (2008).
25. Vinokurov M. A., Koloskova A. V., Speranskaya G. I., Shakirov K. Sh. *Humus of soils of the Volga-Kama forest-steppe and its role in fertility*. 132 (Kazan University Publishing House, Kazan, 1972).
26. Alexandrova A. B., Ivanov D. V., Malanin V. V., Khasanov R. R., Marasov A. A., Paimikina E. E., Rupova E. H. Dynamics of the content of humus and its reserves in the soils of the Republic of Tatarstan. *Russian Journal of Applied Ecology*, **3**, 13 (2015).
27. Fatkullin A. Sh. *Soils of floodplains of small rivers of Tataria*, 303 (Kazan University Publishing House, Kazan, 1968).

УДК 636.2.034

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-127-134

**ДИНАМИКА РОСТА И ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ГОМЕОСТАЗА У МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ
ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН БИОКОМПЛЕКСА СВОБОДНЫХ
L-АМИНОКИСЛОТ**

Лещуков К. А., Масалов В. Н., Сеин О. Б., Мамаев А. В., Кательникова М. А.

*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», Орел, Россия
E-mail: kostl77@mail.ru*

Наиболее полная реализация генетического потенциала возможна только у здоровых животных при получении здорового потомства. При этом, как показывает практика, значительная часть новорожденных телят имеют различные патологии, связанные с генетически детерминированными нарушениями, процедурой принятия отела, выпаивания первой порции молозива и др. Ситуация осложняется тем, что в первые недели и месяцы жизни вследствие нарушения технологии выращивания и менеджмента на комплексе, у телят на фоне слабого иммунитета проявляются клинические признаки, связанные с бактериальным и вирусным поражением организма. Поэтому, выращивание здорового молодняка является одной из наиболее актуальных проблем в молочном животноводстве. В работе изучали влияние биоконплекса свободных L-аминокислот в виде водно-аминокислотного раствора NOMAR148-R на динамику живой массы и показатели функционального гомеостаза телочек черно-пестрой голштиinizированной породы. Установлено положительное влияние указанной кормовой добавки на динамику среднесуточного прироста живой массы телят до 6-ти месячного возраста, обмен белков и показатели функционального гомеостаза, что подтверждается результатами изучения активности индикаторных ферментов переаминирования.

Ключевые слова: динамика живой массы, обмен белков, ферменты переаминирования, биоконплекс аминокислот.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, в основе жизненных процессов и реализации продуктивного потенциала животных лежит обмен белков. Современные исследования позволяют свидетельствовать о том, что обеспечение жвачных белком, как и других видов животных, следует рассматривать как аминокислотное питание, потому что не белок как таковой, а аминокислоты являются основными компонентами образования белков органов, тканей, продукции и различных биологически активных веществ, играющих значительную роль в обеспечении жизненно важных функций организма [1, 2].

В настоящее время в практике молочного животноводства используется достаточно широкий спектр кормовых белковых добавок на различной основе, которые по стоимости являются наиболее затратной частью рациона [3–6]. В то же

время, продолжается поиск относительно дешевых и безопасных добавок к рациону на основе доступного биологически эффективного сырья. Одним из таких компонентов в составе биодобавок к кормам могут являться широко известные природные цеолиты.

Особую роль в поддержании функционального гомеостаза играет обеспеченность аминокислотами рациона телят в первые месяцы жизни, что во многом является залогом реализации их продуктивного потенциала.

В этой связи, целью исследований являлось изучение влияния скармливания биодобавки на основе природных цеолитов «ZEO-AMINO», обогащенной бикомплексом свободных L-аминокислот в виде водно-аминокислотного раствора NOMAR148-R на динамику живой массы и показатели функционального гомеостаза телочек черно-пестрой голштинизированной породы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования были проведены в условиях ОС «Стрелецкое» филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур». Научно-производственные опыты проводили в период с января по июнь 2021 года.

Общее поголовье молодняка крупного рогатого скота черно-пестрой голштинизированной породы в исследованиях – 70 голов, в том числе: телята в возрасте 0–2 мес. – 30 голов; телки в возрасте 2–4 мес. – 20 голов; телки в возрасте 4–6 мес. – 20 голов.

Для проведения научно-производственных испытаний было сформировано 6 групп молодняка крупного рогатого скота разного возраста. Группы формировались по принципу пар-аналогов, основной рацион у животных контрольных и опытных групп был традиционный для молодняка молочного направления продуктивности и соответствовал детализированным нормам кормления.

По группе телята в возрасте 0–2 мес. условия проведения эксперимента и распределение животных было следующее: 1 группа – 15 голов (7 голов – бычки, 8 голов – телочки) являлись контрольными. 2 группа – 15 голов (5 голов – бычки, 10 голов – телочки) являлись опытными. Телята опытной группы, начиная со второго дня жизни, утром один раз в сутки получали водно-аминокислотный раствор NOMAR148-R в зависимости от живой массы из расчета 1 мл на 100кг. Биоконплекс в жидком виде вводили шприцем в кусочек хлеба массой 3 г и давали телятам ежедневно в течение 2 месяцев.

По группе телки в возрасте 2–4 мес. условия проведения эксперимента и распределение животных было следующее: 1 группа – 10 голов телок являлись контрольными. 2 группа – 10 голов телок являлись опытными. Телята опытной группы, начиная со второго месяца жизни, утром один раз в сутки дополнительно к рациону получали гранулированную кормовую добавку «ZEO-AMINO» фракции 0,1–0,7 мм из расчета 1 % от сухого вещества рациона ежедневно в течение 2 месяцев.

По группе телки в возрасте 4–6 мес. условия проведения эксперимента и распределение животных было следующее: 1 группа – 10 голов являлись

контрольными. 2 группа – 10 голов телок являлись опытными. Животные опытной группы, начиная с четвертого месяца жизни, утром один раз в сутки дополнительно к рациону получали гранулированную кормовую добавку «ZEO-AMINO» фракции 0,1–0,7 мм из расчета 1 % от сухого вещества рациона ежедневно в течение 2 месяцев.

Осуществляли ежедневное наблюдение за опытными животными. Взвешивание животных и отбор крови осуществляли в начале и в конце экспериментов. Отбор крови производили в утренние часы до кормления из хвостовой вены. Образцы для исследований направляли в аккредитованную лабораторию ИНИИЦ ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина». Морфологический анализ крови проводили с помощью автоматического гемоанализатора Abacus junior vet. Биохимические показатели крови опытных животных изучались с помощью полуавтоматического биохимического анализатора Clima MC-15.

Биометрическую обработку полученных результатов проводили общепринятыми методами с вычислением критерия достоверности по Стьюденту (Н. А. Плохинский, 1969) в компьютерной программе Microsoft Office Excel 2010. Различия считались достоверными при: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам научно-производственных испытаний кормовой биодобавки «ZEO-AMINO» при выращивании молодняка крупного рогатого скота установлено следующее. По группе телята в возрасте 0–2 мес. выявлено, что ежедневное в течение двух месяцев после рождения скармливание водно-аминокислотного раствора NOMAR148-R в указанных дозах способствует повышению темпов абсолютного прироста живой массы телят в среднем на 11,1 % в сравнение с контролем при достоверных ($P < 0,05$) различиях. Среднесуточный привес в 1 группе (контроль) составил в среднем 465,6 г, во второй – 614,3 г, что составляет 24,2 % при достоверных ($P < 0,05$) различиях. Уровень общего белка в сыворотке крови у телят 2 группы был выше в среднем на 16,5 % при достоверных ($P < 0,01$) различиях и составил $68,6 \pm 1,98$ г/л, против $57,3 \pm 2,22$ г/л в контрольной группе. Уровень альбуминов был выше в среднем на 18,3 % при достоверных ($P < 0,05$) различиях и составил $33,8 \pm 2,06$ г/л, против $27,6 \pm 1,86$ г/л в контрольной группе.

Положительное влияние водно-аминокислотного раствора NOMAR148-R на рост, развитие и обмен веществ телят подтверждается результатами изучения активности индикаторных ферментов переаминирования [7, 8]. Повышение активности АСТ (аспартатаминотрансфераза) характерно при нарушении функции сердечно-сосудистой системы, АЛТ (аланинаминотрансфераза) является специфическим маркером функционального состояния печени. Изучение обмена веществ у телят контрольной и опытных групп показывает, что активность ферментов переаминирования находится в пределах референтных значений физиологической нормы. Показатель АЛТ при скармливании телятам содержащей аминокислоты добавки во 2 группе, повысился относительно контроля в среднем на 12,3 % и составил $20,8 \pm 1,78$ МЕ/л, в 1 группе – $18,2 \pm 3,02$ МЕ/л. Уровень АСТ в 1

группе составил $43,8 \pm 3,74$ МЕ/л, во 2 группе – $45,4 \pm 4,23$ МЕ/л, разница составила 3,7 %. Достоверной разницы между группами по содержанию АСТ и АЛТ не установлено, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и функцию печени. Показатели белкового обмена находились в пределах физиологической нормы. Сохранность телят к 2-х месячному возрасту составила: в контрольной группе составила 93,4 %, в опытной группе – 100 %.

По результатам ежедневных клинических наблюдений и результатов биохимических анализов крови у телят, получавших водно-аминокислотный раствор NOMAR148-R, заболеваний желудочно-кишечного тракта и нарушения обмена веществ не установлено.

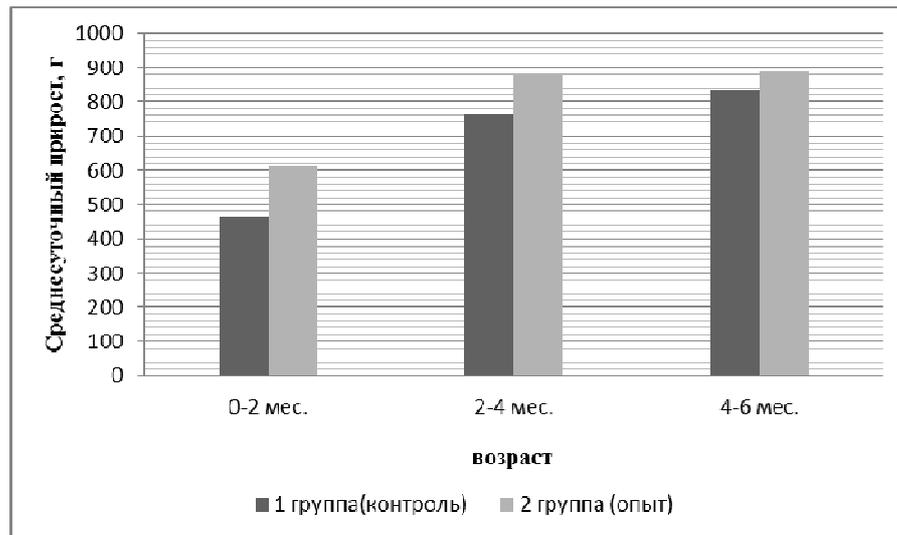


Рис. 1 Динамика среднесуточного прироста опытных животных.

По группе телки в возрасте 2–4 мес. выявлено, что ежедневное в течение двух месяцев скармливание гранулированной кормовой добавки «ZEO-AMINO» в указанных дозах способствует повышению темпов абсолютного прироста живой массы телок в среднем на 15,4 % в сравнение с контролем при высокодостоверных ($P < 0,01$) различиях. Среднесуточный привес в 1 группе (контроль) составил в среднем 762,4 г, во второй – 879,2 г, что составляет 13,3 % при высокодостоверных ($P < 0,01$) различиях. Уровень общего белка в сыворотке крови у телок 2 группы в указанном возрасте был выше в среднем на 19,8 % при достоверных ($P < 0,01$) различиях и составил $75,6 \pm 1,62$ г/л, против $60,6 \pm 1,38$ г/л в контрольной группе. Уровень альбуминов во второй опытной группе установлен выше в среднем на 14,4 % при достоверных ($P < 0,05$) различиях и составил $44,7 \pm 1,08$ г/л, против $38,3 \pm 1,16$ г/л в контрольной группе. Показатель АЛТ во 2 опытной группе снизился относительно контроля в среднем на 2,5 % и составил $30,9 \pm 1,33$ МЕ/л, в 1 группе – $31,7 \pm 1,12$ МЕ/л. Уровень АСТ в 1 группе составил $57,6 \pm 2,66$ МЕ/л, во 2 группе –

64,9±5,16 МЕ/л, разница в сторону повышения составила 12,8 %. Выявлено, что показатели белкового обмена у телок находились в пределах референтных значений физиологической нормы.

Анализ крови на глобулины позволяет оценить уровень иммунной защиты организма, а также функцию органов, принимающих участие в ее образовании. Выявлено, что количество глобулиновой фракции белков сыворотки крови во второй опытной группе увеличивается в среднем на 26,2 % при высокодостоверных (P<0,01) различиях относительно контроля. Уровень глюкозы и холестерина находился в пределах физиологической нормы, что свидетельствует о нормальном течении углеводного и липидного обмена [9].

Сохранность телок к 4-х месячному возрасту по обеим опытным группам составила 100 %.

По результатам ежедневных клинических наблюдений и результатов биохимических анализов крови заболеваний желудочно-кишечного тракта и нарушения обмена веществ у опытных животных не установлено.

Таблица 1
Биохимические показатели крови телят разного возраста, М±m

Показатели	0–2 мес.		2–4 мес.		4–6 мес.	
	1 группа (контроль)	2 группа (опыт)	1 группа (контроль)	2 группа (опыт)	1 группа (контроль)	2 группа (опыт)
Общий белок, г/л	57,3±2,22	68,6±1,98 **	60,6±1,38	75,6±1,62 **	71,1±1,68	86,4±1,31 **
Альбумины, г/л	27,6±1,86	33,8±2,06 *	38,3±1,16	44,7±1,08 *	46,3±2,62	52,8±1,86 *
Глобулины, г/л	29,3±2,36	34,6±1,86	22,8±0,98	30,9±1,48 **	24,8±2,84	33,8±1,74 *
Глюкоза, мм/л	3,5±0,82	3,2±0,66	4,2±1,12	3,9±0,98	4,4±1,24	3,8±,64
Холестерин, мм/л	2,9±0,14	2,3±0,26	2,6±0,42	1,8±0,32	3,0±0,18	2,4±0,24
АЛТ, МЕ/л	18,2±3,02	20,8±1,78	31,7±1,12	30,9±1,33	42,8±2,42	44,3±1,26
АСТ, МЕ/л	43,8±3,74	45,4±4,23	57,6±2,66	64,9±5,16	79,3±2,16	83,8±2,68

Примечание: * – Различия статистически достоверны по сравнению с контролем: P<0,05; P<0,01.

По группе телки в возрасте 4–6 мес. выявлено, что ежедневное в течение двух месяцев скормливание гранулированной кормовой добавки «ZEO-AMINO» в указанных дозах способствует повышению темпов абсолютного прироста живой массы телок в среднем на 17,2 % в сравнение с контролем при достоверных (P<0,05) различиях. Среднесуточный привес в 1 группе (контроль) составил в среднем 836,8 г, во второй – 887,4 г, что составляет 5,7 % при достоверных (P<0,05) различиях. Показатель общего белка в сыворотке крови у телок 2 опытной группы, получавших добавку к 6-ти месячному возрасту был выше в среднем на 17,7 % при высокодостоверных (P<0,01) различиях и составил 86,4±1,31 г/л, против

71,1±1,68 г/л в контрольной группе. Уровень альбуминов во второй опытной группе установлен выше в среднем на 12,2 % и составил 52,8±1,86 г/л, против 46,3±2,62 г/л в контрольной группе. Исследование активности ферментов переаминирования показало следующее. Показатель АЛТ во 2 опытной группе был ниже на момент окончания эксперимента относительно контроля в среднем на 3,3 % и составил 44,3±1,26 МЕ/л, в 1 контрольной группе – 42,8±2,42 МЕ/л. Уровень АСТ в контрольной группе составил в среднем 79,3±2,16МЕ/л, во 2 опытной группе – 83,8±2,68МЕ/л, разница составила 5,4 %. Выявлено, что показатели белкового, углеводного и липидного обмена у телок находились в пределах референтных значений физиологической нормы. При этом уровень глобулинов увеличился в среднем на 26,6 % при достоверных ($P<0,05$) различиях относительно контрольной группы. Сохранность телок к 6-ти месячному возрасту по контрольной и опытной группам составила 100 %.

По результатам ежедневных клинических наблюдений и результатов биохимических анализов крови заболеваний желудочно-кишечного тракта и нарушения обмена веществ у опытных животных не установлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение водно-аминокислотного раствора NOMAR148-R при выращивании молодняка крупного рогатого скота в возрасте до 2 месяцев способствует повышению темпов абсолютного прироста живой массы телят в среднем на 11,1 %, среднесуточный прирост при этом повышается в среднем на 24,2 %; при применении кормовой добавки «ZEO-AMINO» в возрасте с 2-х до 4-х месяцев повышение темпов абсолютного прироста живой массы установлено в среднем на 15,4 %, среднесуточный прирост у телок повышается при этом в среднем на 13,3 %; в возрасте с 4-х до 6 месяцев повышение темпов абсолютного прироста живой массы установлено в среднем на 17,2 %, среднесуточный прирост у телок повышается в среднем на 5,7 %.

Изучение процессов роста и развития животных, обмена белков, углеводов и липидов, а также активности индикаторных ферментов переаминирования позволяет свидетельствовать о том, что применение кормовой биодобавки «ZEO-AMINO» при выращивании молодняка крупного рогатого скота способствует повышению использования белков корма, активизирует ряд жизненно важных функций, связанных с участием глобулинов в транспортировке липидов, в том числе холестерина, стероидных гормонов, витаминов, а также выполнении глобулинами транспортных и защитных функций, являясь факторами специфического и неспецифического иммунитета при нормальном течении физиологических процессов и обеспечении функционального гомеостаза.

Заболеваний желудочно-кишечного тракта и нарушения обмена веществ по результатам клинических наблюдений и лабораторных исследований при использовании кормовой биодобавки «ZEO-AMINO» у животных не установлено.

Для повышения темпов прироста живой массы, эффективности использования белков корма и нормализации обменных процессов рекомендуем в рационах молодняка крупного рогатого скота при выращивании до 6 месячного возраста

ежедневное использование кормовой гранулированной биодобавки «ZEO-AMINO» фракции 0,1–0,7мм из расчета 1 % от сухого вещества рациона.

Список литературы

1. Волчков А. А. Сорбционно-пробиотическая добавка в рационе коров и её влияние на морфобиохимический состав крови и продуктивность / А. А. Волчков, Ю. К. Волčkова, В. Е. Улитко и др. // Ветеринарный врач. – 2020. – № 3. – С. 4–10.
2. Жантасов Е. Гематологические показатели и молочная продуктивность коров при введении в рацион добавки органического селена / Е. Жантасов, Г. Ярмац // Главный зоотехник. – 2013. – № 2. – С. 28 – 33.
3. Карпенко Е. В. Биотехнологические приемы повышения продуктивного действия кормов для сельскохозяйственных животных / Е. В. Карпенко, М. В. Постнова, В. С. Гришин // Вестник ВолГУ. Естественные науки. Серия 11. – 2017. – Т. 7, № 1. – С. 19–22.
4. Малков С. В. Молочная продуктивность коров при применении пробиотической кормовой добавки на основе *Bacillus Subtilis* / С. В. Малков, А. С. Красноперов, А. П. Порываев и др. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2020. – № 3. – С. 150–156.
5. Овчинников А. А. Влияние кормовой добавки сорбционного и пробиотического действия на обменные процессы в организме коров / А. А. Овчинников, Л. Ю. Овчинникова, О. С. Еремкина // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2019. – № 12. – С. 50–59.
6. Попов В. С. Динамика метаболитов обмена веществ, и их коррекция в сухостойный период у коров / В. С. Попов, Н. В. Самбуров, Н. В. Воробьева // Вестник Курской ГСХА. – 2018. – № 2. – С. 38–43.
7. Пономарёв А. Н. Кормовые фитодобавки для повышения качества молока / А. Н. Пономарёв, С. Н. Семёнов, С. Г. Шереметова // Молочная промышленность. – 2007. – № 7 – С. 27
8. Семёнов С. Н. Анализ критических точек в технологии получения сырого молока / С. Н. Семёнов, А. Н. Пономарёв, А. В. Кузовлева, К. К. Полянский // Сыроделие и маслоделие. – 2012. – № 5. – С. 9–11.
9. Zaworski E. M. Effects of feedings various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows / E. M. Zaworski, C. M. Shriver-Munsch, N. A. Fadden, et al. // Dairy Sci. – 2014. – Vol. 97. – P. 3081–3098.

GROWTH DYNAMICS AND INDICATORS OF FUNCTIONAL HOMEOSTASIS IN YOUNG CATTLE WHEN INTRODUCING A BIOCOMPLEX INTO THE DIET OF FREE L-AMINO ACIDS

Leshchukov K. A., Masalov V. N., Sein O. B., Mamaev A. V., Katalnikova M. A.

Orel State Agrarian University named after N. V. Parakhin", Orel, Russia

E-mail: kostl77@mail.ru

The most complete realization of the genetic potential is possible only in healthy animals with healthy offspring. At the same time, as practice shows, a significant part of newborn calves have various pathologies associated with genetically determined disorders, the procedure of calving, drinking the first portion of colostrum, etc. The situation is complicated by the fact that in the first weeks and months of life, due to violations of the technology of cultivation and management at the complex, calves show clinical signs associated with bacterial and viral damage to the body against a background of weak immunity. Therefore, the cultivation of healthy young animals is one of the most pressing problems in dairy farming. The effect of a biocomplex of free L-amino acids in

the form of an aqueous amino acid solution NOMAR148-R on the dynamics of live weight and indicators of functional homeostasis of heifers of a black-and-white Holstein breed was studied. The positive effect of this feed additive on the dynamics of the average daily increase in live weight of calves up to 6 months of age, protein metabolism and indicators of functional homeostasis has been established, which is confirmed by the results of studying the activity of indicator enzymes of transamination. The use of water-amino acid solution NOMAR148-R in the rearing of young cattle under the age of 2 months contributes to an increase in the rate of absolute increase in live weight of calves by an average of 11.1 %, while the average daily increase increases by an average of 24.2 %; when using the feed additive "ZEO-AMINO" at the age of 2 to 4 months, an increase in the rate of absolute live weight gain was established by an average of 15.4 %, the average daily increase in heifers increased by an average of 13.3 %; at the age of 4 to 6 months, an increase in the rate of absolute live weight gain was established by an average of 17.2 %, the average daily increase in heifers increased by an average of 5.7 %.

The study of the processes of growth and development of animals, the metabolism of proteins, carbohydrates and lipids, as well as the activity of indicator enzymes of transamination allows us to testify that the use of the feed supplement "ZEO-AMINO" in the cultivation of young cattle contributes to an increase in the use of feed proteins, activates a number of vital functions associated with the participation of globulins in the transport of lipids, including cholesterol, steroid hormones, vitamins, as well as the performance of transport and protective functions by globulins, being factors of specific and nonspecific immunity in the normal course of physiological processes and ensuring functional homeostasis.

Keywords: dynamics of live weight, protein metabolism, transamination enzymes, amino acid biocomplex.

References

1. Volchkov A. A., Volchkova Yu. K., Ulitko V. E. Sorption-probiotic additive in the diet of cows and its effect on the morphobiochemical composition of blood and productivity, *Veterinary doctor.*, **3**, 4 (2020).
2. Zhantasov E., Yarmots G. Hematological indicators and dairy productivity of cows when introducing organic selenium supplements into the diet, *Chief Zootechnik.*, **2**, 28 (2013).
3. Karpenko E. V., Postnova M. V., Grishin V. S. Biotechnological methods of increasing the productive effect of feed for farm animals, *Bulletin of the Volga State University. Natural sciences. Series 11.*, **7(1)**, 19 (2017).
4. Malkov S. V., Krasnoperov A. S., Poryvaev A. P. Dairy productivity of cows when using probiotic feed additives based on *Bacillus Subtilis*, *Issues of regulatory regulation in veterinary medicine.*, **3**, 150 (2020).
5. Ovchinnikov A. A., Ovchinnikova L. Y., Eremkina O. S. Influence of feed additives of sorption and probiotic action on metabolic processes in the body of cows, *Feeding of farm animals and feed production.*, **12**, 50 (2019).
6. Popov V. S., Samburov N. V., Vorobyova N. V. Dynamics of metabolites of metabolism, and their correction in the dry period in cows, *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy.*, **2**, 38 (2018).
7. Ponomarev A. N., Semenov S. N., Sheremetova S. G. Fodder phytodubments for improving the quality of milk, *Dairy industry.*, **7**, 27 (2007).
8. Semenov S. N., Ponomarev A. N., Kuzovleva A. V., Polyansky K. K. Analysis of critical points in the technology of raw milk production, *Cheese making and butter making.*, **5**, 9 (2012).
9. Zaworski E. M., Shriver-Munsch C. M., Fadden N. A. Effects of feedings various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows, *J. of Dairy Sci.*, **97**, 3081 (2014).

УДК 619:636.088

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА СТАДА СВИНЕЙ И КОРОВ АКТИВАТОРАМИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЖИВОТНЫХ

Мамаев А. В., Масалов В. Н., Сеин О. Б., Лещуков К. А.

*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», Орел, Россия
E-mail: shatone@mail.ru*

В опытах по стимуляции и коррекции репродуктивной функции свиней и коров применяли различные препараты. Применение витаминно-зернового препарата и мексидола позволило сократить время прихода в охоту свиноматок на 2,3 дня и сократить длительность сервис – периода на 4,3 дня. Свиноматки имели на 66,6 % лучшую оплодотворяемость от первого осеменения, большую на 48 кг массу гнезда поросят при отъеме и больше на 11,3 % выживаемость поросят. Использование в рационе витаминно-зернового концентрата из ячменя и липоевой кислоты позволило сократилась на 2,2 дня среднюю скорость прихода в охоту свиноматок, повысить на 1,5 головы многоплодие свиноматок и их оплодотворяемость от первого осеменения. В опытах установлено, что наибольшая оплодотворяемость коров от первого осеменения была в группе, животные которой получали пирроксан в дозе 10 мг.\ 100 кг массы тела. В опытах с анаприлином установлено, что, начиная с дозы 1,5 мг.\ 100 кг массы тела, препарат сокращает продолжительность сервис периода. Оптимальной дозой является 2 мг.\ 100 кг массы тела с пределами от 1,5 до 2,5 мг.\ 100 кг массы тела.

В опытах оптимальным составом эффективного стимулятора оплодотворяемости коров является следующий, г.\ 100 кг. массы тела: зернового концентрата 100, мексидола 0,0003, травы пастушьей сумки 1.

Ключевые слова: коровы, свиноматки, воспроизводительные функции, витаминно-зерновой концентрат, мексидол, липоевая кислота, аденоблокаторы, трава пастушьей сумки.

ВВЕДЕНИЕ

Животноводство является одной из наиболее ценных и быстро окупаемых отраслей народного хозяйства, призванных удовлетворять многочисленные потребности населения. Рентабельность отрасли сопряжена с эффективностью используемой технологии, учитывающей экологические особенности региона и физиологический стереотип животных. В последнее время становится все более сложно обеспечивать животноводческие предприятия необходимыми медикаментозными средствами, в том числе для регуляции и стимуляции воспроизводительной функции животных. Такие средства никогда не отличались дешевизной. В связи с этим на производстве возникла острая потребность в разработке новых методов и подходов к решению этой проблемы. [1–4].

В качестве стимуляторов репродуктивных возможностей животных успешно применяются витаминные, гормональные и антиоксидантные препараты. Применение же гормональных препаратов может вызывать ряд негативных последствий, требует хорошей обеспеченности кормом, точности постановки

диагноза при возникшей дисфункции, больших финансовых затрат. Перспективным направлением представляется разработка средств и методов опосредованного влияния на репродуктивную функцию. Отсюда, стимуляция репродуктивной функции животных может осуществляться средствами профилактирующими отрицательные последствия стресса, средствами опосредованно корректирующими механизмы регуляции репродуктивной функции и средствами, стимулирующими реализацию воспроизводительной способности.

Одним из широко распространенным средством, используемым в качестве стимулятора воспроизводительной функции, являются зародышевые хлопья из зерна злаковых культур, стимулирующие половую и репродуктивную функции с помощью входящих в их состав биологически активных комплексов. К недостаткам этого стимулятора можно отнести недостаточное влияние на снижение сервис – периода (непроизводительного периода), недостаточное влияние на повышение оплодотворяемости животных [5–7].

Исходя из того, что средства позволяющие активизировать антиоксидантную систему организма способствуют повышению результативности воспроизводства стада, нами была выдвинута гипотеза о том, что препарат, включающий зародыши ячменя, содержащие повышенное количество витаминов, микроэлементов и антиоксидант мексидол, будет способствовать повышению результативности воспроизводства стада свиней. Механизм позитивного действия мексидола, связан с его способностью препятствовать окислению витаминов и пролонгировать их действие, обеспечивать защиту ферментов и гормонов животных организмов. Мексидол производится фармацевтической промышленностью и используется для криоконсервации семени животных. Зародыши зерна ячменя содержат большое количество токоферола (витамина Е), оказывающего стимулирующее действие на воспроизводительную систему животных. Зародыши получают путем проращивания зерна злаковых, например, пшеницы или ячменя, путем смачивания тонкого слоя зерна водой и выдержки на тканевом субстрате при температуре 25 °С одни сутки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В опытах использовались 30 свиноматок крупной белой породы. Первая контрольная группа животных получали рационы с зерном, в количествах адекватных нормам кормления. Вторая опытная группа животных получала в рационе зародыши ячменя – ВЗК (витаминный зародышевый концентрат), без мексидола, но в тех же количествах, что и животные первой группы. В рацион свиноматок третьей опытной группы вводился ВЗК ячменя в количестве 0,1 кг на каждые 100 кг живой массы животных, который скармливался с водным раствором мексидола из расчета 0,1 мл раствора с концентрацией 10^{-6} моль вещества на каждые 100 кг живой массы животных. Опыты проводились в течение 40 дней подсоса свиноматок.

В опытах на свиноматках использовали, липоевую кислоту, которую вносили в витаминно-зерновой концентрат (ВЗК) в виде раствора. Опыт включал две группы животных: контрольную и опытную. Все животные опыта получали адекватный

хозяйственный рацион, а опытные свиноматки получали кроме того, ежедневно водный раствор липоевой кислоты вместе с ВЗК в течение 30 дней после опороса. ВЗК скармливали животным сразу после приготовления из расчета 100 г дерти и 0,075 г действующего вещества липоевой кислоты в виде раствора на каждые 100 кг массы тела животных.

В опыте на коровах изучали возможность повышения оплодотворяемости с помощью α -адреноблокатора пирроксана (6-[β - (3-фенилпирролидил - 1) - пропионил] - бензодиоксана-1,4 гидрохлорид). В настоящее время пирроксан применяется для лечения и профилактики различных заболеваний, в основе которых лежит патологическое повышение симпатического тонуса. Для выяснения оптимальной дозы пирроксана было сформировано 6 групп коров. Животные первой группы служили контролем, остальных – получали пирроксан с кормом ежедневно, начиная от отела до прихода в охоту в следующих дозах, мг\100 кг живой массы тела: 1, 5, 10, 15, 20.

В серии опытов изучалось влияние β -адреноблокатора анаприлина на репродуктивную функцию коров. В опыте сформировали 6 групп из коров-аналогов. Анаприлин давали коровам с кормом ежедневно в период от отела до прихода в охоту в следующих дозах: 1;1,5; 2; 2,5; 3 мг.\ 100 кг массы тела. Исследовали содержание половых гормонов в крови коров после тяжелых отелов при использовании анаприлина.

В опытах на коровах, дополнительно к известному препарату, включающему зерновой концентрат и мексидол (ВЗКА), вводилась трава пастушьей сумки. Высушенную траву пастушьей сумки смешивают с ВЗКА и скармливают животным в период от отела до прихода в охоту в количествах адекватных массе тела. Для выяснения оптимальной дозы пастушьей сумки сформировали шесть групп коров. Коровы первой группы служили контролем, а коровы 2–6 групп получали ВЗКА из расчета 0,1 кг \ 100 кг массы и следующее количество пастушьей сумки: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 г \100 кг массы тела [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование ВЗК и мексидола в опытах на свиноматках позволило значительно улучшить показатели воспроизводства свиноматок и показатели развития их потомства (табл. 1). Так, применение нового препарата позволило сократить время прихода в охоту свиноматок на 2,3 дня и сократить длительность сервис – периода на 4,3 дня относительно контрольных животных. Свиноматки, получавшие ВЗК ячменя и мексидол, имели на 66,6 % лучшую оплодотворяемость от первого осеменения, масса гнезда поросят при отъеме у этих свиноматок была на 48 кг больше, а выживаемость поросят на 11,3 % больше, чем у поросят от контрольных свиноматок.

Таблица 1
Влияние ВЗК и мексидола на продуктивные качества свиноматок, М±m

Показатели	Группы опыта		
	1(к)	2	3
Особенности рациона	Зерно	ВЗК	ВЗК+мексидол
Количество животных, гол.	10	10	10
Время прихода в охоту, дн.	6,3±1,23	6,0±0,91	4,0±1,24*
Длительность сервис – периода, дн.	9,3±0,44	7,8±0,25	5,0±0,20**
Оплодотворяемость от 1-го осеменения, %	33,3±3,25	66,7±4,72**	100±4,42***
Оплодотворяемость от повторного осеменения, %	66,7	33,3	-
Масса гнезда поросят при отъеме, кг	112±5,6	110±1,7	160±2,3**
Выживаемость поросят, %	85±0,9	88,6±1,3	96,3±1,0*

Примечание: Различия статистически достоверны по сравнению с контролем:

*P<0,05; **P< 0,01;***P< 0,001

В следующем опыте была изучена возможность стимуляции репродуктивной функции свиноматок средствами природного происхождения с липоевой кислотой, которая активизирует регенерацию тканей и обладает провитаминой активностью.

Целью этого опыта являлось выявление влияния скармливания ВЗК из ячменя и липоевой кислоты на репродуктивные качества свиноматок, в частности: на скорость прихода свиноматок в охоту, на оплодотворяемость, многоплодие, крупноплодность и молочность свиноматок.

Цель добавки липоевой кислоты к ячменному ВЗК – усилить биологическую роль витаминов, ферментов и стабилизировать энергетический обмен.

В ходе исследований наблюдались изменения скорости прихода свиноматок в охоту после опороса, оплодотворяемости от первого осеменения, многоплодия, крупноплодности и молочности свиноматок (табл. 2). Скорость прихода в охоту свиноматок первой контрольной группы составили 17,4 дня. Средняя скорость прихода в охоту свиноматок второй опытной группы сократилась на 2,2 дня при достоверных отличиях относительно контрольных животных. Оплодотворяемость животных опыта от первого осеменения находилась в такой же зависимости. Так, все свиноматки второй опытной группы оплодотворились плодотворно при первом осеменении в отличие от животных первой контрольной группы.

Следовательно, добавка ячменного ВЗК и липоевой кислоты к основному рациону положительно повлияла на восстановительные процессы в половых органах свиноматок и как следствие позволила получить более высокий результат по оплодотворяемости. Многоплодие опытных животных второй группы было достоверно больше на 1,5 головы, относительно контрольных животных. Такая же зависимость наблюдалась при изучении крупноплодности и молочности опытных

животных. Так, поросята, полученные от свиноматок второй опытной группы отличались от поросят свиноматок первой контрольной группы более высокой массой при рождении. Различия в крупноплодности составили 0,07 кг. Однако достоверных различий по этому показателю не отмечается. Изучение условной молочности показало, что у свиноматок второй опытной группы этот показатель был достоверно больше на 5,3 кг, относительно контрольных животных. Это свидетельствует о большей энергии роста у поросят полученных от свиноматок опытной группы.

Таблица 2

Показатели продуктивности свиноматок получавших ВЗК и липоевую кислоту, М ± m

Показатели	Группы опыта	
	1(к)	2
Количество животных в опыте, гол.	7	7
Время прихода в охоту, дней	17,4 ± 0,5	15,2 ± 0,5 *
Оплодотворяемость от 1-го осеменения, %	57,1 ± 0,40	71,4 ± 0,98***
Многоплодие, голов	10,80 ± 0,12	12,30 ± 0,20*
Крупноплодность, кг	0,79 ± 0,12	0,86 ± 0,15
Молочность, кг.	56,4 ± 0,14	61,7 ± 0,13***

Примечание: Различия статистически достоверны при: * – P < 0,05 ;*** – P < 0,001.

Дисфункция, связанная с патологией какого либо органа или системы органов животного организма создает стрессовую ситуацию. Стимулирующий эффект антиоксидантов в стрессированном организме, связан кроме всего прочего, по видимо с разблокированием гонадотропной функции гипофиза. Отсюда, с определенной долей уверенности можно предположить, что эффектом, стимулирующим репродукцию животных, будут обладать средства способные снизить отрицательные последствия стресса. Известно, что гормоны стресса (катехоламины) – антагонисты половых гормонов, отсюда предпосылкой для проведения исследований служила гипотеза: препараты – адреноблокаторы снижая отрицательные последствия стресса, по-видимому могут оказывать стимулирующий эффект на репродуктивную функцию животных [9].

Установлено, что наибольшая оплодотворяемость коров от первого осеменения была в группе, животные которой получали пирроксан в дозе 10 мг.λ 100 кг массы тела (табл. 3). Эффективность препарата проявляется в пределах от 5 до 15 мг.λ 100 кг массы тела.

Для выявления преимуществ пирроксана по сравнению с прототипом сформировали три группы коров. Животные первой группы служили контролем, а второй и третьей вводили, соответственно, СК-5 –препарат класса 3- оксипиридинов (стимулятор репродуктивной функции, АС СССР № 1813443) и пирроксан ежедневно, начиная со дня отела и заканчивая приходом коров в охоту. Пирроксан

давали с кормом в дозе 10 мг.\ 100 кг массы тела, а СК-5 вводили внутримышечно в дозе 0,4 мг.\ 100 кг массы тела.

Таблица 3
Оплодотворяемость коров при использовании разных доз пирроксана, М ± m

Группы	Количество коров, голов	Доза пирроксана, мг.\ 100 кг массы тела	Стали стельными	
			голов	%
1 (конт.)	10	0	5	50,0±15,8
2	10	1	5	50,0±15,8
3	10	5	6	60,0±15,5
4	10	10	7	70,0±14,5
5	10	15	6	60,0±15,5
6	10	20	5	50,0±15,8

Выявлено, что пирроксан обеспечивает повышение оплодотворяемости как по сравнению с контролем, так и по сравнению с прототипом. Этот показатель в третьей группе был в 1,4 раза выше, а во второй в 1,2 раза выше относительно контроля (табл. 4).

Таблица 4
Оплодотворяемость коров при использовании пирроксана и СК-5, М ± m

Группа	Препарат	Количество коров, голов	Стали стельными	
			голов	%
1	Контроль	21	12	57,1±10,8
2	СК-5	24	16	66,7±9,6
3	Пирроксан	25	20	80,0±8,0

Далее из коров, имеющих тяжелые отелы, сформировали три группы. Животные первой группы служили контролем, второй – обрабатывались СК-5, а третьей – получали пирроксан. Обработку коров опытных групп начинали сразу после отела и проводили ежедневно до проявления охоты. СК-5 вводили внутримышечно в дозе 0,4 мг \ 100 кг массы тела, а пирроксан вводили с кормом в дозе 10 мг\ 100 кг массы тела. После выявления охоты у коров брали кровь для определения содержания половых гормонов.

Установлено, что пирроксан существенно повышает оплодотворяемость коров после тяжелых отелов, а механизм позитивного действия пирроксана показан в изменении содержания эстрадиола и прогестерона, наиболее оптимальным для реализации репродуктивной функции (табл. 5).

Таблица 5

Оплодотворяемость и содержание половых гормонов в крови коров после тяжелых отелов при использовании пирроксана и СК-5, М ± m

Показатели	Группы опыта		
	1	2	3
Препарат	контроль	СК-5	Пирроксан
Количество коров, голов	17	16	18
Стали стельными, %	35,3±11,6	50,0±12,5	55,6±11,7
Содержание гормонов в плазме крови:			
Прогестерон, нг\мл.	0,72±0,11	0,81±0,14	0,89±0,07
Эстрадиол, пг\мл.	49,31±7,09	32,42±5,54	27,73±6,42*

Примечание: * – P < 0,05

Эффективность пирроксана связана с тем, что он блокирует негативное действие катехоламинов, которые являются антагонистами половых гормонов и стимулируют сократительную функцию матки, ускоряя инволюцию репродуктивных органов после отела, что оказывает благотворное влияние на работу системы гипоталамус-гипофиз-яичник. Положительным результатом этого является нормализация секреторной функции яичника и, как следствие, повышение оплодотворяемости коров.

В настоящее время анаприлин применяется в медицине как β-адреноблокатор ((+)-1-изопропиламино-3-(1-нафтокси)-2-пропанола гидрохлорида), для ослабления влияния симпатической импульсации на β-адренорецепторы сердца, анаприлин блокирует хроно- и инотропный эффект катехоламинов – антагонистов половых гормонов.

Результаты опыта с анаприлином показали, что, начиная с дозы 1,5 мг\ 100 кг массы тела, препарат сокращает продолжительность сервис периода. Оптимальной дозой является 2 мг\ 100 кг массы тела с пределами от 1,5 до 2,5 мг\ 100 кг массы тела (табл. 6).

Далее, для выяснения преимущества анаприлина по сравнению с известным СК-5 было сформировано 3 группы коров с нормальным течением родового и послеродового периодов. Первая группа была контрольной, второй вводили анаприлин с кормом ежедневно в дозе 2 мг\ 100 кг массы тела, а третьей группе вводили СК-5 внутримышечно в дозе 0,4 мг\ 100 кг массы тела, в период от отела до прихода в охоту. Из результатов (табл. 7) видно, что анаприлин снижает сервис период как по сравнению с контролем, так и по сравнению с СК-5.

В следующем опыте, из коров, имеющих тяжелые отелы, сформировали 3 группы. Препараты вводили по вышеописанному способу. Для выяснения механизма действия анаприлина у всех животных брали кровь на 2–3 день после окончания охоты. Результаты опыта представлены в таблице 8. Использование анаприлина позволяет сократить сервис-период у коров по сравнению с контролем

на 29,4 %, по сравнению с СК-5 – на 8,8 %. При этом отмечается существенное увеличение содержания прогестерона и снижение эстрадиола в крови коров опытной группы в лютеиновую фазу. Это совпадает с увеличением содержания тироксина и трийодтиронина (табл. 8).

Таблица 6
Продолжительность сервис периода у коров при использовании разных доз анаприлина, М ± m

Группы	Количество коров, голов	Доза анаприлина, мг.\ 100 кг массы тела	Продолжительность сервис -периода, дней
1 (конт.)	38	0	87,3±4,2
2	36	1,0	89,7±5,7
3	36	1,5	78,4±6,1
4	35	2,0	72,5±5,2*
5	37	2,5	79,4±5,8
6	37	3,0	84,5±6,9

Примечание: * – P < 0,05

Таблица 7
Продолжительность сервис периода у коров с нормальным течением родового и послеродового периодов обработанных анаприлином и СК-5, М ± m

Группа	Препарат	Количество коров, голов	Продолжительность сервис -периода, дней
1	Контроль	27	77,7±4,8
2	СК-5	25	69,7±5,7
3	Анаприлин	26	60,3±5,1*

Примечание: * – P < 0,05

Полученные данные свидетельствуют, что анаприлин улучшает гонадо – и тиреотропную функцию гипофиза, а также секреторную деятельность яичника и щитовидной железы.

Существенное сокращение сервис периода и позитивное изменение содержания гормонов в крови коров, обработанных анаприлином, доказывает эффективность его применения для стимуляции репродуктивной функции животных. Эффективность анаприлина, обусловлена способностью, повышать функциональную активность яичника и щитовидной железы.

Таблица 8

Содержание половых гормонов в крови коров после тяжелых отелов при использовании анаприлина и СК-5, $M \pm m$

Группа	Препарат	Количество коров, голов	Содержание гормонов в плазме крови			
			Прогестерон, нг\мл.	Эстрадиол, пг\мл.	Тироксин, мкг\100мл	Трийодтиронин, нг\мл.
1	Контроль	17	0,64±0,05	53,33±6,11	3,21±0,24	0,39±0,11
2	СК-5	16	0,78±0,09	31,05±5,89*	3,91±0,11	0,67±0,09
3	Анаприлин	18	0,83±0,06 *	34,05±4,17 *	4,05±0,14 **	0,69±0,11

Примечание: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$

В опытах с α и β -адреноблокаторами установлено, что представители этой группы – пирроксан и анаприлин, являются эффективными стимуляторами репродуктивной функции коров. Положительное действие этих препаратов связано со способностью ослабления антагонизма адреналина и половых гормонов и ускорения инволюцию половых органов самок после родов за счет активации процесса сокращения матки при блокировании α и β рецепторов.

Синтетические вещества, применяемые для стимуляции репродуктивной функции животных, обладая высокой эффективностью, решают узкий аспект задач. Наибольшим эффектом обладают антиоксиданты, витамины и стимуляторы сократительной функции матки. Важным направлением, позволяющим решать широкий круг вопросов простоты использования, доступности, повторяемости в производственных условиях, является разработка препаратов на основе природных ингредиентов обладающих комплексным стимулирующим эффектом. Природные препараты наиболее применяемы в практике, отличаются высокой биогенностью и экономичностью [10, 11].

В опытах на свиньях нами был применен стимулятор репродуктивной функции, включающий зародыши ячменя и антиоксидант мексидол, которые позволили повысить оплодотворяемость животных. Аналогичные исследования были проведены на коровах, однако установлено, что этот стимулятор имеет недостатки: недостаточно высокие показатели оплодотворяемости животных с разной тяжестью родов, отсутствие стимулирующих сократительную функцию матки ингредиентов. Ранее было установлено, что использование травы пастушьей сумки позволяет активизировать мышечные ткани, витаминно-зерновой концентрат (ВЗК) зародышей злаковых содержит большое количество биологически активных веществ, а мексидол способен защищать витамины и гормоны от разрушения. Предположительно, препарат, включающий все три составляющих, позволит повысить результативность воспроизводства стада.

В опытах, дополнительно к известному препарату, включающему зерновой концентрат и мексидол (ВЗКА), вводилась трава пастушьей сумки, содержащую холин, ацетилхолин, тиамин, органические кислоты, сапонины и другие вещества,

вызывающие сократительное действие мускулы матки. Механизм положительного действия пастушьей сумки, связан со способностью ускорять инволюцию половой системы после родов посредством активации сократительной мускулатуры матки.

Установлено, что оптимальной дозой пастушьей сумки является 1,0 г \ 100 кг массы тела с пределами от 0,5 до 1,5 г\100 кг массы тела (табл. 9).

Таблица 9
Оплодотворяемость коров получавших разные дозы пастушьей сумки, М ± m

Группа	Доза пастушьей сумки, г.\100кг. массы тела	Количество коров, голов	Стали стельными	
			Голов	%
1 (к)	0	16	8	50,0 ±12,5
2	0,25	14	7	50,0 ±13,4
3	0,50	15	9	60,0 ±12,6
4	1,0	17	12	70,6 ±11,0
5	1,5	17	11	65,1 ±11,6
6	2,0	15	8	53,3 ±12,9

Таким образом, оптимальным составом стимулятора оплодотворяемости является следующий, г.\100 кг. массы тела: злаковых 100, мексидола 0,0003, травы пастушьей сумки 1.

Для выяснения преимуществ нового препарата перед ВЗКА сформировали три группы коров с нормальным течением родового и послеродового периодов. Коровам второй группы давали ВЗКА в дозе 100 г.\ 100 кг. массы тела, третьей – новый стимулятор, а животные первой группы служили контролем. Выявили увеличение оплодотворяемости по сравнению с контролем и ВЗКА в результате применения нового препарата (табл. 10).

Таблица 10
Оплодотворяемость коров с нормальными отелами получавших ВЗКА и пастушью сумку, М ± m

Группа	Препарат	Количество коров, голов	Стали стельными	
			Голов	%
1 (к)	Контроль	47	25	53,2 ±7,3
2	ВЗКА	51	32	62,7 ±6,8
3	ВЗКА+ пастушья сумка	50	35	70,0 ±6,5

В интересах выявления механизма позитивного действия препарата сформировали три группы из коров с тяжелыми отелами. Коровы первой группы служили контролем, второй – получали ВЗКА, а третьей – новый препарат. В результате установлено существенное увеличение оплодотворяемости коров, получавших новый препарат (табл. 11).

Следовательно, эффективность препарата, обусловленная введением травы пастушьей сумки, связана с ускорением инволюции репродуктивной системы коров после отела. Особенно это выражено у коров, имеющих тяжелые отелы.

Таблица 11

Оплодотворяемость коров с тяжелыми отелами получавших ВЗКА и пастушью сумку, $M \pm m$

Группа	Препарат	Количество коров, голов	Стали стельными	
			Голов	%
1 (к)	Контроль	63	25	38,1 ±6,1
2	ВЗКА	68	38	55,9±6,0*
3	ВЗКА+ пастушья сумка	69	42	60,0 ±5,9**

Примечание: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты исследований показывают, что использование ВЗК из зерновых, мексидола, липоевой кислоты, пирроксана, СК-5, анаприлина и травы пастушьей сумки благотворно влияет на репродуктивные качества коров и свиноматок. Предлагаемые способы существенно облегчат стимуляцию репродуктивных функций животных на производстве за счет простоты приготовления ВЗК, доступности сырья для его изготовления и использования недорогих препаратов.

Список литературы

1. Голубков А. И. Воспроизводительная способность быков-спермодоноров разного генеза / А. И. Голубков, В. К. Аджибеков // Вестник КрасГАУ – 2018. – № 4. – С. 86–89.
2. Даровских В. Е. Влияние половой функции коров и свиноматок на соотношение полов в потомстве / В. Е. Даровских, Н. Ф. Лось, М. Н. Чернышева, А. А. Гольдина // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1998. – № 3. – С. 37–39.
3. Самусенко Л. Д. Оценка воспроизводительной способности быков-производителей разных линий / Самусенко Л. Д. // В сборнике: Перспективы развития отрасли и предприятий АПК: отечественный и международный опыт. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Орел, 2020. – С. 255–259.
4. Сеин О. Б. Регуляция физиологических функций у животных / О. Б. Сеин, Н. И. Жеребилов // "Лань".- С-П., 2021. – С. 25–28.
5. Илюшина Л. Д. Способ стимуляции репродуктивной функции животных, например, коров / Л. Д. Илюшина, А. В. Мамаев, К. А. Лещуков // Патент РФ № 2193309. – М., 2002. – С. 1–4.

6. Мамаев А. В. Стимуляция репродуктивной функции коров биоэнергетическими методами / А. В. Мамаев, Л. Д. Самусенко // Вестник ОрелГАУ. – 2010. – №3. – С. 92–95.
7. Мамаев А. В. Стимулятор репродуктивной функции животных / А. В. Мамаев, А. М. Гуськов, Н. В. Знихаева, А. Н. Щепелев и др. // Патент РФ № 2143196. – М., 1999. – С. 1–4.
8. Чомаев А. М. Восстановление функции размножения у коров с фолликулярными кистами яичников / А. М. Чомаев // Использование гормональных препаратов в животноводстве. – Дубровицы, 1991. – С. 13–14.
9. Шипилов В. С. Основы повышения плодовитости животных / В. С. Шипилов – Смоленск, Дело, 1994. – С.45–49.
10. Попов В. С. Динамика метаболитов обмена веществ, и их коррекция в сухостойный период у коров / В. С. Попов, Н. В. Самбуров, Н. В. Воробьева // Вестник Курской ГСХА. – 2018. – № 2. – С. 38–43.
11. Семёнов С. Н. Анализ критических точек в технологии получения сырого молока / С. Н. Семёнов, А. Н. Пономарёв, А. В. Кузовлева, К. К. Полянский // Сыроделие и маслоделие. – 2012. – № 5. – С. 9–11.

ENSURING THE EFFECTIVENESS OF REPRODUCTION OF A HERD OF PIGS AND COWS WITH ACTIVATORS OF THE ANTIOXIDANT SYSTEM OF ANIMALS

Mamaev A. V., Masalov V. N., Sein O. B., Leshchukov K. A.

*Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia
E-mail: shatone@mail.ru*

It is increasingly difficult to provide livestock enterprises with the necessary medicines, including for the regulation and stimulation of the reproductive function of animals. Such funds have never been cheap. In experiments on stimulation and correction of the reproductive function of pigs, a drug was used, including barley embryos containing an increased amount of vitamins, trace elements and the antioxidant mexidol, lipoic acid, the possibility of increasing the fertilization of cows with the help of the pyrroxane adrenoblocker, SK-5 -a class 3 – oxypyridine drug, the effect of the anaprilin adrenoblocker on the reproductive function of cows was studied. In experiments to correct the reproductive function of cows, a preparation including grain concentrate, mexidol and shepherd's bag grass was used. The use of vitamin-grain preparation and mexidol made it possible to reduce the time of arrival to the hunt of sows by 2.3 days and reduce the duration of the service period by 4.3 days. sows had 66.6 % better fertilization from the first insemination, a 48 kg greater weight of the piglets' nest at weaning and an 11.3 % higher survival rate of piglets. The use of vitamin-grain concentrate from barley and lipoic acid in the diet made it possible to reduce by 2.2 days the average rate of arrival of sows in hunting, to increase by 1.5 heads the multiplicity of sows and their fertilization from the first insemination. In experiments, it was found that the greatest fertilization of cows from the first insemination was in the group whose animals received pyrroxane at a dose of 10 mg. \ 100 kg of body weight. In experiments with anaprilin, it was found that, starting with a dose of 1.5 mg. \ 100 kg of body weight, the drug shortens the duration of the

service period. The optimal dose is 2 mg. \ 100 kg of body weight with limits from 1.5 to 2.5 mg. \ 100 kg of body weight.

In experiments, the optimal composition of an effective stimulator of fertilization of cows is the following, g. \ 100 kg. body weight: grain concentrate 100, mexidol 0.0003, grass shepherd's bag 1.

Keywords: cows, sows, reproductive functions, vitamin-grain concentrate, mexidol, lipoic acid, adrenoblockers, grass shepherd's bag.

References

1. Golubkov A. I., Adzhibekov V. K. Reproductive ability of sperm bulls of different genesis, *Bulletin of KrasGAU*, **4**, 86 (2018).
2. Darovskikh V. E., Los N. F., Chernysheva M. N., Goldina A. A. The influence of the sexual function of cows and sows on the sex ratio in offspring, *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, **3**, 37 (1998).
3. Samusenko L. D. Evaluation of the reproductive ability of bulls-producers of different lines, *In the collection: Prospects for the development of the industry and agricultural enterprises: domestic and international experience. Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference*, 255 (Eagle, 2020).
4. Sein O. B., Zherebilov N. I. Regulation of physiological functions in animals, pp. 25-28 ("Doe", S.P.-2021).
5. Ilyushina L. D. Mamaev A. V., Leshchukov K. A. Method of stimulating the reproductive function of animals, for example, cows, *Patent of the Russian Federation*, **2193309**, 1 (M., 2002).
6. Mamaev A. V., Samusenko L. D. Stimulation of the reproductive function of cows by bioenergetic methods, *Vestnik Orelgau*, **3**, 92 (2010).
7. Mamaev A. V., Guskov M. A., Senicheva N. In., Shepelev A. N. etc. A Stimulant of the reproductive function of animals, *RF Patent*, **2143196**, 1 (M., 1999).
8. Chomaev A. M. the restoration of the function of reproduction in cows with follicular ovarian cysts, *Use of hormonal drugs in livestock*, 13 (Dubrovitsy, 1991).
9. Shipilov V. S. *Fundamentals of increasing animal fertility*, 45 (Smolensk, Business, 1994).
10. Popov V. S., Samburov N. V., Vorobyova N. V. Dynamics of metabolites of metabolism, and their correction in the dry period in cows, *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, **2**, 38 (2018).
11. Semenov S. N., Ponomarev A. N., Kuzovleva A. V., Polyansky K. K. Analysis of critical points in the technology of raw milk production, *Cheese making and butter making*, **5**, 9 (2012).

УДК 612.763; 612.743

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА МЫШЕЧНЫХ СИНЕРГИЙ ТОЧНОСТНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Моисеев С. А., Иванов С. М.

*Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия
E-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru*

Показано, что управление пространственно-временной структурой выстрела из лука осуществляется бóльшим количеством управляемых модулей – синергий, в сравнении с движениями, не имеющими целевую направленность, но схожими по биомеханической структуре. В условиях развивающегося утомления пространственно-временная структура мышечных синергий остается относительно стабильной, коэффициенты мышечной активации и векторы синергии демонстрируют умеренное сходство при их сравнении в начале выполнения изометрического усилия при удержании растянутого лука и при его завершении. Такие особенности, вероятно, являются частью нейронной стратегии ЦНС, направленной на снижение избыточности степеней свободы нервно-мышечной системы спортсмена и поддержание оптимальных параметров мышечной активности в изменяющихся условиях выполнения двигательной задачи.

Ключевые слова: мышечные синергии; стрельба из лука; метод главных компонент, утомление; координационная структура.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос двигательного синергизма преимущественно рассматривается в рамках ряда теоретических разработок, изложенных в фундаментальных исследовательских работах, выполненных на животных и человеке [1–3]. Одна из концепций основана на утверждении о том, что управление движением осуществляется по принципу объединения различных элементов управляемой системы в модули, а контроль осуществляется гибким комбинированием в нервной системе таких модулей в зависимости от сложности двигательной задачи.

В ряде работ выявляются основные синергии при рассмотрении локомоторных и поструральных движений верхними и нижними конечностями, манипуляций руками, таких как бытовые движения запястьем – хватание, перенос предмета и другие. При изменении условий реализации таких движений, например, при изменении их направления, скорости или вследствие наступления утомления, регистрируются дополнительные, специфические для новых условий двигательные синергии с сохранением основных. Некоторые локомоторные движения, выполняемые нижними конечностями, обнаруживают единые базовые синергетические модули [4]. Данная закономерность выявляется не только при рассмотрении циклических движений, это характерно и для сложных по координации движений: в концентрической и эксцентрической фазах жима лежа в тяжелой атлетике, при выполнении технических элементов в единоборствах [5, 6].

При выполнении больших оборотов на перекладине в спортивной гимнастике обнаруживаются схожие стратегии управления движением в целом и его отдельными периодами [7].

При изучении мышечных синергий применяется относительно стандартный подход, основанный на применении методов снижения размерности и классификации данных. Такие методы подразумевают представление исходного набора электромиограмм (ЭМГ) разных мышц в виде паттернов активации синергии (коэффициентов активации) и весовых коэффициентов (векторы синергии), определяющих временную и пространственную их организацию. Доказано, что синергетические эффекты, выявленные с помощью алгоритмов факторизации данных не являются их артефактами, а отражают определенные аспекты организации мышечной активации [8, 9]. Как правило, наиболее вариативной оказывается пространственная структура мышечных синергий, а временная организация остается относительно стабильной в различных условиях выполнения двигательной задачи. Такая закономерность наблюдается при внутри- и межиндивидуальном сравнении извлеченных мышечных синергий, что приводит как доказательство в пользу нейронального их происхождения. Однако, несмотря на обилие исследовательских работ в этой области остаются малоизученными особенности синергетического взаимодействия скелетных мышц при выполнении сложнокоординационных движений, имеющих явно выраженную целевую направленность. Такие данные будут способствовать пониманию нейрональной основы формирования мышечных синергий и будут полезны для совершенствования специфических двигательных навыков, характерных для стрельбы из лука и других точностных видов спорта. В связи с этим задачами исследования являлось установление различий пространственно-временной структуры мышечных синергий при выполнении специальных упражнений, схожих по биомеханической структуре с отдельными фазами движений, выполняемых спортсменами при стрельбе по мишени. Также планировалось выявить особенности изменений пространственно-временной структуры мышечных синергий в процессе развивающегося утомления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 8 спортсменов мужского пола, специализирующихся в стрельбе из классического лука. Эксперименты выполнены на базе научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры ФГБОУ ВО «ВЛГАФК» в лаборатории физиологии нервной и мышечной систем. Все исследования проведены с соблюдением требований и принципов биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г., и одобрены биоэтическим комитетом Великолукской государственной академии физической культуры и спорта. Каждый участник представил добровольное письменное информированное согласие на участие в исследованиях.

Каждый спортсмен выполнял 4 серии выстрелов из лука по 3 в каждой с дистанции 18 метров, в анализ включали только результативные выстрелы. Выстрел делили на две фазы – «расширение» и «дотяг». В первом случае граничными

моментами фазы являлось начало захвата тетивы с упиранием в лук до поставки тянущей руки к ориентационной точке, во втором – от завершения первой фазы до выпуска стрелы. В отдельной серии испытуемые выполняли серию натяжений тетивы лука до произвольного отказа с максимальной интенсивностью, в анализ включали движения спортсменов, выполненные в первой и последней четверти упражнения. В другой серии стрелки выполняли удержание растянутого лука до произвольного отказа, в этом случае анализировали электроактивность скелетных мышц в начале удержания и в конце выполнения упражнения. Сравнивали параметры извлеченных мышечных синергий в фазе «расширение» при выполнении выстрелов по мишени с таковыми, выявленными при выполнении многократных натяжений тетивы лука в начальном периоде и конце упражнения. Параметры синергий, зарегистрированные при стрельбе по мишени в фазе «дотяг» сопоставляли с установленными при выполнении удержания растянутого лука в начале и конце упражнения. Таким образом, различные экспериментальные условия определялись рассмотрением особенностей мышечных синергий в соответствующих фазах выстрела из лука в условиях стрельбы по мишени, при натяжении тетивы лука и при удержании растянутого лука.

Регистрировали ЭМГ восьми поверхностных скелетных мышц туловища и верхних конечностей: поверхностного сгибателя пальцев правой кисти; общего разгибателя пальцев правой кисти; задней части правой дельтовидной; верхних и нижних пучков трапециевидной мышцы правой и левой стороны; передней части дельтовидной мышцы левой верхней конечности. Применяли биомонитор ME6000 (Финляндия), ЭМГ регистрировали с частотой дискретизации 2000 Гц. Накожные отводящие электроды располагали на двигательных точках названных мышц, межэлектродное расстояние составляло 20 мм. Для определения граничных моментов фаз рассматриваемых упражнений использовали систему 3D-видеозахвата Qualisys (Швеция), синхронизированную с биомонитором.

Зарегистрированные интерференционные ЭМГ фильтровались в диапазоне 20–450 Гц, усреднялись в интервалах 0,01 с и повторно применяли фильтр низких частот 15 Гц. Частота квантования ЭМГ сигналов и видеоряда после обработки составляла 100 Гц, данные виды сигналов были интерполированы относительно единой точки отсчета. Формировалась матрица исходных данных, включающая динамические вариационные ряды ЭМГ 8 скелетных мышц всех испытуемых, к данным в матрице применялась нормализация средним (z-нормализация). Мышечные синергии (МС) извлекали методом главных компонент (РСА). В разных экспериментальных условиях оценивали количество извлекаемых компонент (синергий), долю дисперсии, учитываемой каждым компонентом при извлечении, временную (components scores – коэффициенты мышечной активации) и пространственную (components loadings – векторы синергии) структуру мышечных синергий.

Математико-статистическая обработка данных выполнена в Statistica 10.0 и включала расчет среднего арифметического (M), ошибки среднего арифметического (m). Сравнение извлеченных синергий осуществляли с помощью анализа

кросскорреляционных функций при рассмотрении временной структуры и коэффициентов корреляции Пирсона при анализе пространственной структуры МС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из задач исследования были проанализирована пространственно-временная структура мышечных синергий при реализации выстрелов из лука по мишени. Были установлены по три мышечные синергии в обеих фазах изучаемого движения. Суммарная доля дисперсии, объясняемая извлеченными компонентами в фазе «расширение» составляла 71,5 %, в фазе «дотяг» – 69,7 %. В фазе «расширение» были выявлены синергетические паттерны активации поверхностного сгибателя пальцев правой кисти, задней части дельтовидной мышцы правой верхней конечности и нижних пучков трапециевидной мышцы правой стороны тела – первая синергия. Пространственная структура второй синергии включала активность верхних пучков трапециевидных мышц обеих сторон, третья синергия содержала ЭМГ-активность одной мышцы – передней части дельтовидной левой стороны тела. При «дотяге» в первую синергию были вовлечены поверхностный сгибатель пальцев, задняя часть дельтовидной, верхние пучки трапециевидных мышц обеих сторон и нижние пучки трапециевидной мышцы правой стороны. Вторая и третья синергии были представлены активностью общего разгибателя пальцев и передней частью дельтовидной мышцы левой верхней конечности соответственно. Динамика активности извлеченных мышечных синергий представлена на рисунке 1. Так, активность первой МС в начале выстрела незначительно снижалась, затем возрастала, достигала пика в начале фазы «дотяг» и находилась на этом уровне примерно до половины данной фазы после чего демонстрировала снижение активности. Активность второй и третьей синергии была схожей в фазе «расширение», пик их активности приходился на половину фазы. Далее активность второй МС возрастала примерно до половины фазы «дотяг» и затем снижалась до окончания выстрела (рис. 1).

При выполнении упражнения, предусматривающего многократные растяжения тетивы лука, было установлено по две МС в начале выполнения и при его завершении. Следует отметить, что доля объясняемой дисперсии в обоих периодах не превышала 57,16 %. В начале выполнения упражнения наблюдалось синергетическое взаимодействие общего разгибателя пальцев, верхних пучков трапециевидной мышцы левой стороны и передней части дельтовидной мышцы левой стороны, вторая МС включала только нижние пучки трапециевидной мышцы левой стороны тела. В конце упражнения в первую синергию оказались включены поверхностный сгибатель пальцев, общий разгибатель пальцев и нижние пучки трапециевидной мышцы левой стороны тела, а вторая синергия была представлена одной мышцей – верхними пучками трапециевидной мышцы правой стороны. Временная структура выявленных мышечных синергий в этом упражнении характеризовалась постепенным возрастанием ее активности к окончанию выстрела, что было характерно для начального периода выполнения упражнения и для периода его завершения. Вторая установленная синергия демонстрировала

постепенное возрастание активности до середины и ее снижение к окончанию выстрела.

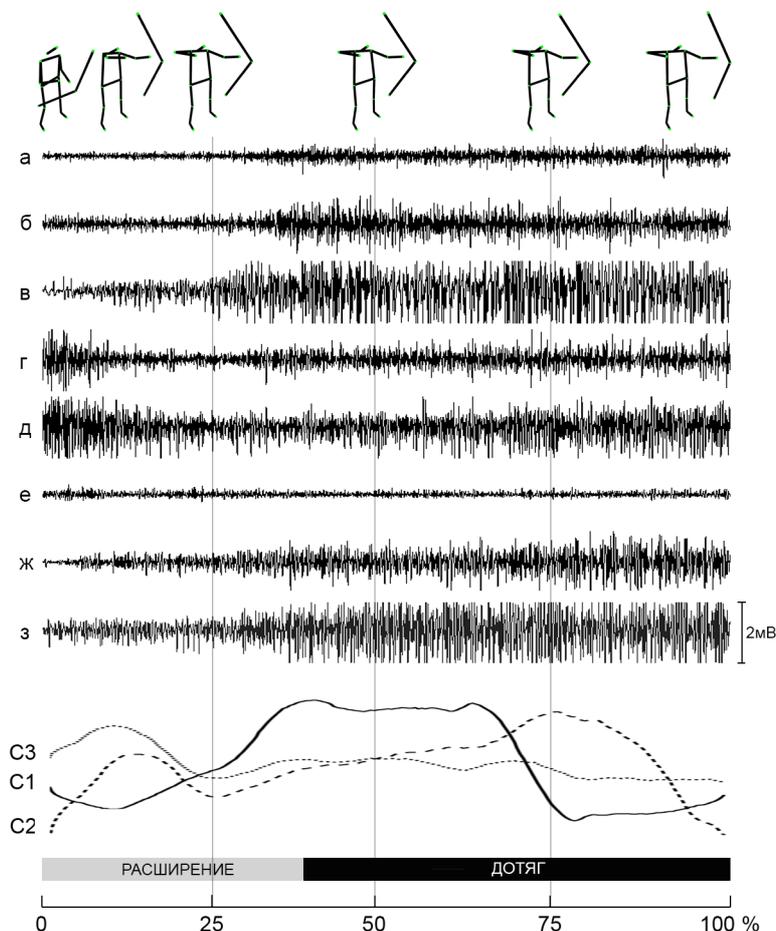


Рис. 1. Кинематограмма, электромиограммы и временная структура мышечной активации при выполнении выстрела из классического лука. а – поверхностный сгибатель пальцев кисти пр., б – общий разгибатель пальцев пр., в – задняя часть дельтовидной пр., г – верхние пучки трапецевидной пр., д – верхние пучки трапецевидной лев., е – передняя часть дельтовидной лев., ж – нижние пучки трапецевидной пр., з – нижние пучки трапецевидной лев. С1,2,3 – мышечные синергии. По оси абсцисс – прогресс выстрела.

Выявлена средняя взаимосвязь векторов первой синергий при их сравнении в условиях стрельбы по мишени и в начале выполнения упражнения по растяжению тетивы лука, коэффициенты корреляции здесь составляли $0,51 \pm 0,37$. В конце упражнения также отмечено среднее соответствие пространственной структуры первой синергии. Сопоставительный анализ первой выявленной синергии в начале и

конец выполнения упражнения показал среднюю взаимосвязь векторов МС – $0,48 \pm 0,44$. Аналогично, при сравнении пространственной структуры второй МС в разных периодах упражнения с условиями стрельбы по мишени, было установлено среднее их сходство, коэффициенты корреляции не превышали $0,45 \pm 0,35$. Примечательно, что в процессе развивающегося утомления пространственная структура второй мышечной синергии оставалась стабильной, на что указывает высокая взаимосвязь векторов МС при их сопоставлении в начале и конце упражнения – $0,87 \pm 0,35$ (рис. 2).

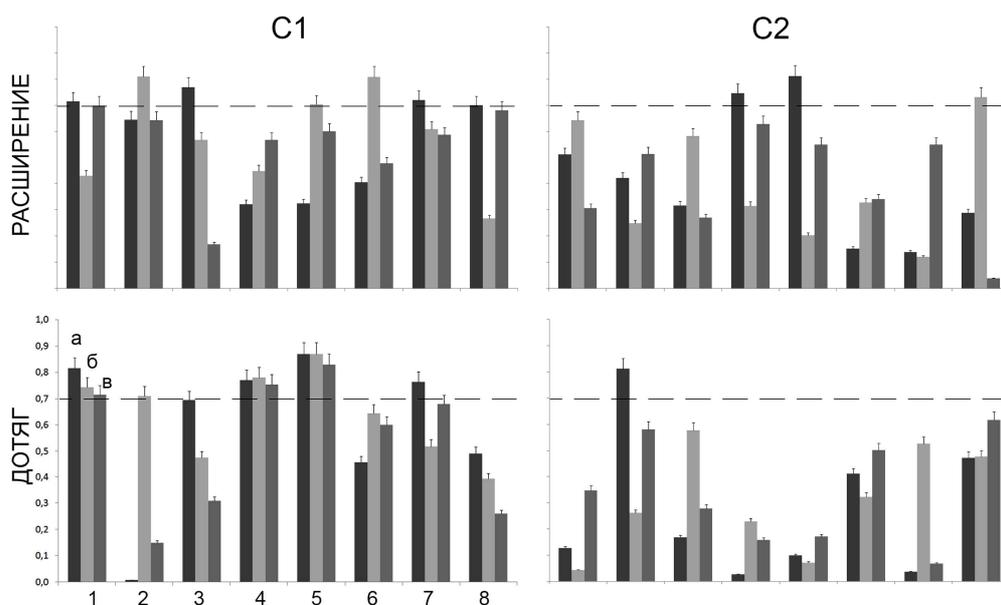


Рис. 2. Пространственная структура извлеченных мышечных синергий в различных фазах выстрела из лука при стрельбе по мишени (а), в начальном периоде специального упражнения (б), в конечном периоде специального упражнения (в). 1 – поверхностный сгибатель пальцев кисти пр., 2 – общий разгибатель пальцев пр., 3 – задняя часть дельтовидной пр., 4 – верхние пучки трапецевидной пр., 5 – верхние пучки трапецевидной лев., 6 – передняя часть дельтовидной лев., 7 – нижние пучки трапецевидной пр., 8 – нижние пучки трапецевидной лев. По оси ординат – коэффициенты синергии. С1,2 – мышечные синергии.

Сравнение коэффициентов мышечной активации первой выявленной синергии при стрельбе по мишени и в начале выполнения упражнения (растяжение тетивы лука) показало низкую их взаимосвязь, а в сравнении с окончанием упражнения – среднюю, где максимальные значения кросскорреляционных функций составляли $0,59 \pm 0,15$. В процессе развивающегося утомления временная структура изменялась в средней степени – $0,48 \pm 0,15$. При рассмотрении временной структуры второй синергии в разных экспериментальных условиях были получены схожие результаты

с первой, преимущественно, регистрировались коэффициенты кросскорреляционных функций, указывающие на среднюю воспроизводимость мышечной активности при схожих по биомеханической структуре движениях с выстрелом из лука (рис. 3).

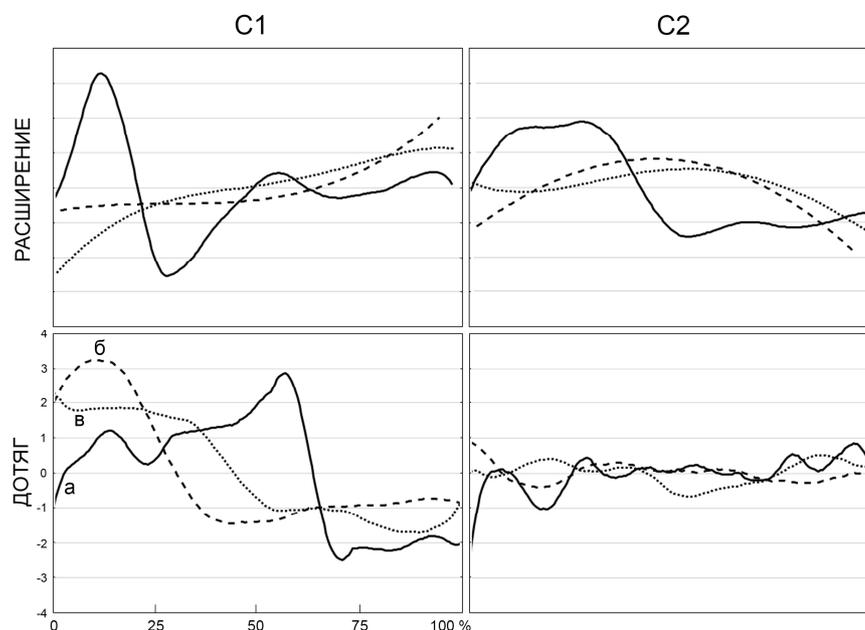


Рис. 3. Временная структура извлеченных мышечных синергий в различных фазах выстрела из лука при стрельбе по мишени (а), в начальном периоде специального упражнения (б), в конечном периоде специального упражнения (в). По оси абсцисс – прогресс упражнения, по оси ординат – коэффициенты мышечной активации (у.е.). На рисунке к данным применено отрицательное экспоненциальное сглаживание. С1,2 – мышечные синергии.

При выполнении удержания растянутого лука установлено три синергии в начале выполнения и две МС в периоде окончания упражнения. Доля объясняемой дисперсии в первом случае достигала 68,2 %, во втором – 50,06 %. Первая выявленная МС в начальном периоде включала мышцы: поверхностный сгибатель пальцев, общий разгибатель пальцев, верхние пучки трапецевидных мышцы обеих сторон. Во второй синергии можно выделить слабое взаимодействие задней части дельтовидной и нижних пучков трапецевидной мышцы правой стороны тела. Третья синергия была представлена одной мышцей – нижними пучками трапецевидной мышцей левой стороны. При завершении удержания растянутого лука первая установленная синергия включала активность поверхностного сгибателя пальцев, верхних пучков трапецевидной левой и нижних пучков трапецевидной мышц правой стороны (рис. 2). Отмечено слабое синергетическое взаимодействие общего разгибателя пальцев и нижних пучков трапецевидной мышцы – вторая синергия. Временная структура МС

при удержании растянутого лука характеризовалась относительной стабильностью обеих выявленных МС, не было выявлено резких изменений их активности в процессе реализации упражнения.

В сравнении с условиями стрельбы по мишени начальный период удержания растянутого лука характеризовался средними коэффициентами корреляции – $0,58 \pm 0,44$, была установлена высокая степень сходства пространственной структуры первой извлеченной мышечной синергии в конце выполнения удержания – $0,79 \pm 0,35$. При сравнении структуры МС в начале и конце упражнения можно отметить среднее их сходство, коэффициенты корреляции в этом случае не превышали $0,62 \pm 0,41$. Аналогичная картина наблюдалась при анализе характеристик второй извлеченной МС, а именно, отмечалось высокое их сходство в периоде окончания удержания в сравнении с условиями стрельбы по мишени – $0,77 \pm 0,35$. В других экспериментальных условиях была выявлена средняя взаимосвязь. Временная структура МС демонстрировала низкое их сходство практически во всех рассматриваемых условиях, за исключением первой синергии, где были выявлены средние коэффициенты кросскорреляционных функций при сравнении синергетических паттернов в начале и окончании удержания растянутого лука – $0,48 \pm 0,05$ (рис. 3).

Как правило, количество извлекаемых модулей (синергий), при использовании методов снижения размерности исходных данных интерпретируют как нейронную стратегию ЦНС, направленную на снижение избыточности степеней свободы. Большое количество модулей может свидетельствовать о высокой сложности движения и необходимости увеличения количества управляемых модулей со стороны управляющей системы с целью повышения стабильности параметров моторного выхода [10]. Однако на основании ранее опубликованных работ и полученных в данной работе результатов оказалось, что управление сложнокоординационным спортивным движением осуществляется не более чем тремя модулями, в то время как, например, при циклической работе регистрируется не менее пяти [11, 12]. Примечательно, что выявленное нами меньшее число МС при выполнении специальных упражнений, схожих по биомеханической структуре с отдельными фазами выстрела из лука, сопровождается снижением качества реконструкции исходных ЭМГ данных, на что указывает процент объясняемой дисперсии в каждом компоненте. На наш взгляд, такие результаты могут указывать на снижение контроля за движением со стороны управляющей системы при движениях, не имеющих явной целевой направленности, вследствие чего МС могут не иметь четкой организации.

Литературные данные указывают, что отдельные фазы сложных по координации движений включают не более двух модулей при сопоставлении синергетических эффектов во время движений, выполняемых тренированными и нетренированными людьми. Этот факт, наряду с другими закономерностями функционирования МС приводят как доказательство предположения о том, что структура двигательного действия определяет стратегию нервно-мышечного контроля. Постулируется, что при внутри- и межиндивидуальном сравнении коэффициенты активации синергий очень схожи, а векторы МС, т.е. их

компонентный состав оказывается более вариативен [13, 14, 7]. Однако, это утверждение справедливо в том случае, когда рассматривается одна двигательная модель в разных условиях. Мы изучали движения со схожим режимом мышечных сокращений и векторы МС показывали среднее сходство, а в конечном периоде удержания растянутого лука – высокое. Коэффициенты мышечной активации, наоборот, демонстрировали низкое соответствие практически во всех экспериментальных условиях. Таким образом, полученные нами данные отчасти расходятся с литературными. Вероятно, это может быть связано с тем, что использовались разные подходы к выбору рассматриваемых двигательных моделей, а именно, в наших исследованиях сопоставлялись движения с учетом режима мышечного сокращения – концентрическом и изометрическом, а критерии подбора двигательных моделей для сравнения синергетических эффектов других исследователей могли быть иными. Другая возможная причина расхождений в результатах может быть связана с общими проблемами применения различных подходов к регистрации, анализу МС, выбору методов их извлечения, предобработки исходных сигналов и прочие. Эти вопросы широко обсуждаются в литературе и до сих пор во многом остаются дискуссионными.

Второй аспект, который мы рассматривали в работе – это влияние утомления на структуру МС, извлекаемых из структуры специфических для стрельбы из лука специальных упражнений. Нами установлено, что уменьшение количества извлекаемых синергетических модулей в сравнении с условиями стрельбы по мишени сопровождается снижением качества реконструкции исходных данных. Это наблюдается при сравнении паттернов активации синергий в начале удержания растянутого лука в сравнении с периодом его завершения. В целом установленная нами пространственно-временная структура МС при утомлении демонстрировала среднюю стабильность. Такие результаты оказываются во многом схожими с таковыми при рассмотрении локомоторных и ациклических движений. Так, оказывается, что паттерны активации мышц при выполнении приседаний до утомления в течение одного исследования остаются стабильными, векторы МС, коэффициенты мышечной активации и индивидуальные значения ЭМГ-активности скелетных мышц демонстрируют высокое сходство при многодневном исследовании [15, 16, 12]. Есть результаты, показывающие изменения компонентного состава МС при утомлении, что может быть частью стратегии ЦНС по поддержанию оптимальных параметров двигательной системы [17]. Некоторые авторы приводят результаты по снижению активности МС в процессе напряженной мышечной работы как маркер надежности выявления состояния утомления [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, управление пространственно-временной структурой выстрела из лука осуществляется большим количеством управляемых модулей – синергий, в сравнении с движениями, не имеющими целевую направленность, но схожими по биомеханической структуре. В условиях развивающегося утомления пространственно-временная структура мышечных синергий остается относительно стабильной, коэффициенты мышечной активации и векторы синергии

демонстрируют умеренное сходство при их сравнении в начале выполнения изометрического усилия при удержании растянутого лука и при его завершении. Такие особенности, вероятно, являются частью нейронной стратегии ЦНС, направленной на снижение избыточности степеней свободы нервно-мышечной системы спортсмена и поддержание оптимальных параметров мышечной активности в изменяющихся условиях выполнения двигательной задачи.

Список литературы

1. Singh R. E. A systematic review on muscle synergies: from building blocks of motor behavior to a neurorehabilitation tool / R. E. Singh, K. Iqbal, G. White, et. al // *Applied Bionics and Biomechanics*. – 2018. – 15. – P. 1.
2. D'Avella A. Shared and specific muscle synergies in natural motor behaviors / A. d'Avella, E. Bizzi // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2005. – Vol.102, №8. – P. 3076–3081.
3. Latash M. L. Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis / M. L. Latash // *Motor Control*. – 2010. – Vol. 14, №3. – P. 294–322.
4. Barroso F. O. Shared muscle synergies in human walking and cycling/ F. O. Barroso D. Torricelli, J. C. Moreno, et. al // *J Neurophysiol*. – 2014. – Vol. 112, №8. – P. 1984–98.
5. Kristiansen M. Inter-subject variability of muscle synergies during bench press in power lifters and untrained individuals/ M. Kristiansen, P. Madeleine, E. A. Hansen, et. al // *Scand J Med Sci Sports*. – 2015. – Vol. 25, №1. – P. 89.
6. Моисеев С. А. Особенности синергетического взаимодействия скелетных мышц при выполнении сложной координационной двигательной задачи / С. А. Моисеев, Р. М. Городничев // *Физиология человека*. – 2021. – Т.47, №1. – С. 53–62.
7. Frère J. Between-subject variability of muscle synergies during a complex motor skill / J. Frère, F. Hug // *Front Comput Neurosci*. – 2012. – Vol. 6. – P. 99.
8. Tresch M. C. Matrix factorization algorithms for the identification of muscle synergies: evaluation on simulated and experimental data sets / M. C. Tresch, V. C. Cheung, A. d'Avella // *J Neurophysiol*. – 2006. – Vol. 95, №4. – P. 2199–212.
9. Amundsen Huffmaster S. L. Muscle Synergies Obtained from Comprehensive Mapping of the Cortical Forelimb Representation Using Stimulus Triggered Averaging of EMG Activity / S. L. Amundsen Huffmaster, G. M. Van Acker, C. W. Luchies, et. al // *J Neurosci*. – 2018. – Vol. 38, №41. – P. 8759–8771.
10. Kim K. Effect of Kinetic Degrees of Freedom on Multi-Finger Synergies and Task Performance during Force Production and Release Tasks / K. Kim, D. Xu, J. Park // *Sci Rep*. – 2018. – Vol. 8, №1. – P.12758.
11. Моисеев С. А. Особенности организации процессов управления скелетными мышцами человека при локомоциях различной интенсивности / С. А. Моисеев, Е. А. Михайлова, И. В. Пискунов, и др. // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия*. – 2019. – Т.5(71). – №4. – С.79–90.
12. Hajiloo B. The effects of fatigue on synergy of selected lower limb muscles during running / B. Hajiloo, M. Anbarian, H. Esmaeili, et. al // *J Biomech*. – 2020. – Vol.103. – P.109692.
13. Santos P. D. G. Intermuscular coordination in the power clean exercise: comparison between olympic weightlifters and untrained individuals-a preliminary study / P. D. G Santos, J. R. Vaz, P. F. Correia, et. al // *Sensors (Basel)*. – 2021. – Vol.21, №5. – P.1904.
14. Bao N. T. Muscle synergy analysis in dart throwing / N. T. Bao, S. Yano, T. Kondo // *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. – 2017. – P. 2534–2537.
15. Smale K. B. Use of muscle synergies and wavelet transforms to identify fatigue during squatting / K. B. Smale, M. S. Shourijeh, D. L. Benoit // *J Electromyogr Kinesiol*. – 2016. – Vol. 28. – P.158–66.
16. Santos P. D. G. Muscle synergies reliability in the power clean exercise / P. D. G. Santos, J. R. Vaz, P. F. Correia, et. al // *J Funct Morphol Kinesiol*. – 2020. – Vol. 5, №4. – P.75.
17. Matsunaga N. Comparison of Modular Control during Side Cutting before and after Fatigue / N. Matsunaga, K. Aoki, K. Kaneoka // *Appl Bionics Biomech*. – 2021. – 8860207.

18. Ortega-Auriol P. A. Fatigue influences the recruitment, but not structure, of muscle synergies / P. A. Ortega-Auriol, T. F. Besier, W. D. Byblow, et. al // Front Hum Neurosci. – 2018. – Vol. 12. – P. 217.

MUSCLE SYNERGIES' SPATIO-TEMPORAL STRUCTURE OF HUMAN PRECISION MOVEMENTS

Moiseev S. A., Ivanov S. M.

*Velikie Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikie Luki, Russia
E-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru*

The motor synergy issue is considered in many theories which are fundamental researches performed on animals and humans. One of the muscle synergy concepts is based on the statement that motion control is provided by combining various controlled system elements into modules, and a modules' flexible combination in the nervous system, depending on the motor task complexity. However, despite the abundance of the muscle synergies researches, targeted high-coordinated movements are still poorly studied. The main goal of this study was to establish the muscle synergies spatio-temporal structure differences when performing special exercises that are similar in biomechanical structure to some phases of a targeted bow shot. It was planned to reveal the muscle synergies spatio-temporal structure changes features in some archery shot phases under developing fatigue.

The study involved 8 male classical archery athletes. Electromyograms of eight superficial trunk and upper extremities skeletal muscles were recorded with a 2kHz sampling frequency. The recorded raw electromyograms were filtered by a 20–450 Hz bandpass filter, then averaged at 0.01 s intervals, and were repeatedly processed by a 15 Hz low-pass filter. Muscle synergies were extracted by the principal component analysis method (PCA). Under different experimental conditions, the number of extracted components (synergies), the variance, described by each component during extraction, the muscle synergies temporal and spatial structure were estimated. Synergies were considered in various phases of an archery target shooting, with repeated tension of the bowstring without firing a shot, and during a stretched bow holding to failure.

It was established that the targeted complicated sports' movement control is accompanied by synergy modules number increasing to motor output parameters reliability improvement. The muscle synergies spatio-temporal structure, under developing fatigue, remains relatively stable. The muscle activation coefficients and synergy vectors show moderate similarity at the isometric effort beginning, during holding a stretched bow, and during effort completion. Such features are probably part of the central nervous system neural strategy aimed at the athlete's neuromuscular system degrees of freedom redundancy reducing and maintaining optimal muscle activity parameters during motor task conditions changing.

Keywords: muscle synergy; archery; principle component analysis, fatigue; coordination structure.

References

1. Singh R. E., Iqbal K., White G., Hutchinson T. E. A systematic review on muscle synergies: from building blocks of motor behavior to a neurorehabilitation tool. *Applied Bionics and Biomechanics*, **15**, (2018).
2. D'Avella A., Bizzi E. Shared and specific muscle synergies in natural motor behaviors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102(8)**, 3076 (2005).
3. Latash M. L. Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis. *Motor Control*, **14(3)**, 294 (2010).
4. Barroso F. O., Torricelli D., Moreno J. C., Taylor J., Gomez-Soriano J., Bravo-Esteban E., Piazza S., Santos C., Pons J. L. Shared muscle synergies in human walking and cycling. *J Neurophysiol*, **112(8)**, 1984 (2014).
5. Kristiansen M., Madeleine P., Hansen E. A., Samani A. Inter-subject variability of muscle synergies during bench press in power lifters and untrained individuals. *Scand J Med Sci Sports*, **25(1)**, 89 (2015).
6. Moiseev S. A., Gorodnichev R. M. Skeletal muscles synergetic interaction features during complicated coordination motor task performing. *Human physiology*, **47(1)**, 53 (2021).
7. Frère J., Hug F. Between-subject variability of muscle synergies during a complex motor skill. *Front Comput Neurosci*, **6**, 99 (2012).
8. Tresch M. C., Cheung V. C., d'Avella A. Matrix factorization algorithms for the identification of muscle synergies: evaluation on simulated and experimental data sets. *J Neurophysiol*, **95(4)**, 2199 (2006).
9. Amundsen Huffmaster S. L., Van Acker G. M. 3rd, Luchies C. W., Cheney P. D. Muscle Synergies Obtained from Comprehensive Mapping of the Cortical Forelimb Representation Using Stimulus Triggered Averaging of EMG Activity. *J Neurosci*, **38(41)**, 8759 (2018).
10. Kim K., Xu D., Park J. Effect of kinetic degrees of freedom on multi-finger synergies and task performance during force production and release tasks. *Sci Rep*, **8(1)**, 12758 (2018).
11. Moiseev S. A., Mikhailova E. A., Piskunov I. V., Bobkova E. N., Dubinin G. V., Gorodnichev R. M. Human skeletal muscles control organization processes features during various intensity locomotions. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **5(4)**, 79 (2019).
12. Hajiloo B., Anbarian M., Esmaeili H., Mirzapour M. The effects of fatigue on synergy of selected lower limb muscles during running. *J Biomech*, **103**, 109692 (2020).
13. Santos P. D. G., Vaz J. R., Correia P. F., Valamatos M. J., Veloso A. P., Pezarat-Correia P. Intermuscular coordination in the power clean exercise: comparison between olympic weightlifters and untrained individuals-a preliminary study. *Sensors (Basel)*, **21(5)**, 1904 (2021).
14. Bao Nguyen Tran, Yano S, Kondo T. Muscle synergy analysis in dart throwing. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.*, 2534 (2017).
15. Smale K. B., Shourijeh M. S., Benoit D. L. Use of muscle synergies and wavelet transforms to identify fatigue during squatting. *J Electromyogr Kinesiol*, **28**, 158 (2016).
16. Santos P. D. G., Vaz J. R., Correia P. F., Valamatos M. J., Veloso A. P., Pezarat-Correia P. Muscle Synergies Reliability in the Power Clean Exercise. *J Funct Morphol Kinesiol*, **5(4)**, 75 (2020).
17. Matsunaga N., Aoki K., Kaneoka K. Comparison of modular control during side cutting before and after fatigue. *Appl Bionics Biomech*, 8860207 (2021).
18. Ortega-Auriol P. A., Besier T. F., Byblow W. D., McMorland A. J. C. Fatigue influences the recruitment, but not structure, of muscle synergies. *Front hum neurosci*, **12**, 217 (2018).

УДК 612.822

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-160-179

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОСПРИЯТИЯ ЛИЦЕВОЙ ЭКСПРЕССИИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Павленко В. Б.

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

В статье представлен обзор научных работ, посвященных восприятию эмоциональной лицевой экспрессии и опознанию ее валентности у нейротипичных детей и взрослых, а также индивидов с расстройствами аутистического спектра. Описаны и проанализированы основные результаты исследований в этой области, полученные с применением ай-трекинга, нейровизуализации и регистрации осцилляторной активности коры мозга. Показана важная роль системы зеркальных нейронов человека в этом процессе, а также связь нарушений ее функционирования с выраженностью симптомов аутизма. Авторы приходят к выводу, что идентификация ЭЭГ-маркеров и паттернов глазодвигательных реакций при восприятии эмоционально выразительных лиц может быть полезна для ранней диагностики нарушений развития у детей, а также для коррекции нарушений с применением тренингов на основе биологической обратной связи.

Ключевые слова: эмоциональные экспрессии лица, окуломоторная активность, расстройства аутистического спектра, ЭЭГ, система зеркальных нейронов.

ВВЕДЕНИЕ

Способность выражать свои эмоции и понимать чувства других людей имеет решающее значение для человеческого общения. Наблюдаемая эмоциональная реакция предоставляет массу информации, касающейся потребностей других людей, сообщая, радостны они или страдают, нуждаются в помощи или их следует избегать. Мы также можем собирать важную информацию о нашем собственном относительном состоянии безопасности на основе эмоциональных реакций окружающих. Если мы видим испуганного человека, то можем предположить, что, возможно, нам тоже следует проявлять бдительность в отношении потенциальной угрозы.

Одним из основных средств эмоционального общения являются выражения лица. Эмоциональная лицевая экспрессия лица признана одним из самых основных и универсальных методов передачи внутреннего аффективного состояния [1, 2]. Дефицит способности к восприятию лица и распознаванию эмоций может иметь серьезные последствия для свободного социального взаимодействия. Некоторые из

наиболее выраженных социальных дефицитов, характерных для расстройств аутистического спектра (РАС), – это снижение интереса и внимания к человеческому лицу [3]. РАС – нарушения психического развития, имеющие нейроонтогенетический характер, проявляющиеся в детстве или младенчестве [4]. К основным признакам РАС можно отнести существенные отклонения в реализации и понимании социальных взаимодействий, снижение эмпатии.

В последние два десятилетия многие исследователи придерживаются гипотезы, в соответствии с которой ряд нарушений социального поведения при РАС могут быть обусловлены дисфункцией системы так называемых «зеркальных нейронов» головного мозга человека [5–7]. Появилось много новых данных в пользу этого предположения. В связи с этим, целью данной работы явился обзор публикаций, посвященных особенностям движений глаз при восприятии выражений лица и нейрофизиологическим механизмам опознания валентности лицевой экспрессии в норме у людей разного возраста и у больных с РАС. Особое внимание уделено динамике паттерна ЭЭГ испытуемых при выполнении соответствующих задач. Поиск работ по ключевым словам (*eye tracking, autism, face emotion, emotion recognition, pupillometry, EEG*) был проведен с использованием баз научной литературы *Pubmed.com, ScienceDirect.com, SCOPUS.com, eLIBRARY.ru*.

1. Движение глаз при восприятии лиц и их особенности у больных с аутизмом

Успешное социальное взаимодействие требует распознавания тонких изменений психического состояния окружающих. Дефицит распознавания эмоций обнаруживается при многих неврологических и психических заболеваниях и часто характеризуется нарушениями траектории взора и временем его фиксации при восприятии лиц. Такие нарушения проявляются прежде всего в неспособности фиксировать взор на эмоционально информативных чертах лица [8]. Именно в момент фиксации взора мы считываем наиболее полную и точную информацию о проявлении эмоций окружающих, их намерениях и действиях.

Согласно результатам окулографических исследований с применением ай-трекера типично развивающиеся дети и здоровые взрослые для решения задачи идентификации лица неосознанно обращают внимание в первую очередь на его верхнюю часть, что проявляется в соответствующем преобладании точек фиксации. Для распознавания эмоций больше смотрят на нижнюю часть лица. Эта часть лица, особенно рот, в наибольшей степени участвует в выражении базовых эмоций (страха, удивления, радости, отвращения) [9]. В целом при рассматривании лиц и оценке их выражения в процессе социального взаимодействия выявляется т.н. треугольный паттерн движения взора (фиксации в области левого и правого глаза, носа, рта). Однако особенности движения глаз при восприятии лицевой экспрессии зависят от степени выраженности и валентности эмоций [8]. Так, для опознания ярко выраженных эмоциональных выражений самые разнообразные глазодвигательные паттерны, но при этом наибольшее внимание обращено на область рта. Идентификация проявлений самых тонких эмоций требует большей фиксации взора в области глаз, и в меньшей степени – в области носа и рта.

Исключением из этого правила является восприятие проявлений эмоции удовольствия – при любой их выраженности распознавание обеспечивается, прежде всего, вниманием к области рта.

Имеются важные различия в окуломоторной активности при восприятии и опознании лицевых эмоциональных экспрессий, предъявленных в виде статических и динамических изображений. При рассматривании фотографий наиболее продолжительное время взор направлен на область рта и зоны левого и правого глаза. Для зон носа и переносицы время рассматривания существенно ниже. При экспозиции видеозаписей структура осмотра определяется текущей динамикой мимики лица, а зонам глаз уделяется большее внимание, чем предыдущем случае [10].

Глазодвигательные паттерны при восприятии лиц демонстрируют возрастные и этнические особенности. Например, в недавнем исследовании [11], в котором в качестве испытуемых принимали участие японские и британские дети 10 и 16 месяцев, а также взрослые были выявлены следующие характеристики восприятия статичных и динамических лиц. У 10-месячных младенцев было обнаружено более высокое время фиксации взора в области глаз, чем у испытуемых других возрастов. Фиксация взора в области рта была самой высокой в 16-месячной группе. Считают, что такие возрастные особенности движения глаз могут отражать адаптивные особенности требований к обучению. Для младенцев первого года жизни в социальном обучении и раннем невербальном общении важно следить за глазами родителей. Зрительный контакт позволяет младенцам участвовать в процессах совместного внимания со взрослыми. На втором году жизни, когда малыши вступают в стадию произношения слов, повышенное внимание к области движущегося рта важно для освоения речи. Несмотря на то, что все испытуемые демонстрировали треугольный паттерн движения взора, представители восточной культуры больше, чем европейцы, обращали внимание на область носа, в то время как представители западной культуры – на область рта. Возможным объяснением данных различий считают социальные нормы, принятые в этих культурах, регламентирующие особенности коммуникации. В целом, результаты данного исследования показывают, что люди с раннего детства применяют визуальные стратегии в соответствии с их этнической принадлежностью и свидетельствуют о наличии высокоадаптивной системы обработки лиц, сформированной ранним социокультурным опытом.

Дети с РАС при восприятии лиц демонстрируют аномальные глазодвигательные паттерны. Исследования с применением ай-трекеров при предъявлении ряда статических изображений и видеозаписей неживых объектов, людей и человеческих лиц показали, что аутисты больше смотрят на объекты несоциальной природы [12–14]. В ряде исследований [12, 15, 16] у подростков с РАС по сравнению с нейротипичными индивидами была выявлена более длительная фиксация взгляда на области рта и меньшая – на области глаз. При обследовании детей в возрасте 4–6 лет с РАС [17] была обнаружена положительная корреляция между периодом времени, когда взгляд был зафиксирован на области рта и выраженностью аутистических черт, и отрицательная корреляция – со

временем, когда дети смотрели на область глаз. У аутистов в возрастной группе от 16 до 18 лет также было выявлено снижение внимания к области глаз при восприятии лиц [15, 18].

Однако не все исследования подтверждают наличие таких особенностей у больных с РАС. Как заключают Мелисса Блэк с соавторами в своем обзоре публикаций по данной теме [7], в ряде работ не удалось найти какой-либо существенной разницы в глазодвигательных паттернах людей с РАС по сравнению с контрольной группой. Только два из девяти исследований, в которых сравнивали детей с РАС и типично развивающихся детей, сообщили о снижении количества фиксаций на область глаз. Из восьми исследований с участием подростков с РАС только в половине обнаружили сниженное внимание к области глаз. Очевидно, многое зависит от характера стимулов (статические или динамические), особенностей выполняемого задания (пассивный просмотр или оценка характера эмоции и т.п.).

Интересную информацию дает пупиллометрия – регистрация размера зрачка. У детей в возрастной группе 2–5 лет с диагнозом РАС при краткосрочной демонстрации изображений с различными выражениями лиц расширение зрачка существенно ниже, чем у здоровых детей из контрольной группы, что указывает на нарушение сложных нервных процессов распознавания эмоциональной экспрессии [19].

2. Нейрофизиологические механизмы восприятия эмоциональной лицевой экспрессии, роль системы зеркальных нейронов

Важнейшую информацию о структурах ЦНС, обеспечивающих восприятие эмоциональной лицевой экспрессии и опознание ее валентности, дают функциональная магнитно-резонансная и позитронно-эмиссионная томография (фМРТ и ПЭТ). Эти методы обеспечивают высокое пространственное разрешение при выявлении мозговых центров активации. В результате удалось описать общие контуры нейробиологической организации системы восприятия лиц, выделить их основные элементы (см. обзоры [20–23]). Наиболее ранние процессы обработки информации о лицах окружающих запускаются при активации важного подкоркового звена лимбической системы – миндалевидного тела, сигналы к которому поступают напрямую от верхних бугорков четверохолмия. Таким образом происходит быстрая автоматическая (бессознательная) оценка эмоций окружающих. Параллельно с этими процессами потоки импульсов, несущих информацию о характеристиках лиц, сперва поступают из наружного коленчатого тела в первичную зрительную (стриарную) кору (зона V1). Затем, по т.н. вентральному пути, включающему ряд корковых инстанций, перерабатывающих информацию о форме объектов, в латеральную фузиформную извилину (*lateral fusiform gyrus, LFG*) и в область верхней височной борозды (*superior temporal sulcus, STS*). Нейронные сети первой из них анализируют идентичность лиц на основе их инвариантных характеристик, второй – мимику. Однако область *LFG* также активируется во время восприятия мимики, т.к. при распознавании изменчивых аспектов лица необходимо учитывать и его неизменяемые черты. Вслед за

указанными структурами активируются связанные с ними инсулярная корковая область (островок), нижнелобные и орбитофронтальные отделы лобной коры. Эти корковые области участвуют в осознании знака эмоции и контроле собственного эмоционального состояния. Таким образом, за восприятие лицевой экспрессии отвечает распределенная система корковых и подкорковых структур (их список далеко не исчерпывается уже упомянутыми). Описанные выше процессы латерализованы: левое полушарие, в большей степени вовлеченное в аналитические процессы, демонстрирует преобладающую активацию при выполнении задач на узнавание знакомых лиц, правое, обеспечивающее целостное восприятие, – при задачах на различение их эмоциональной окраски. Однако, если при опознании лицевой экспрессии необходимо дать вербальный ответ, особенно при необходимости сознательной оценки сложного сочетания эмоций, дополнительно активируется левое полушарие [24].

Важную и в значительной степени уникальную роль в анализе нейрофизиологических механизмов восприятия лицевой экспрессии играют также исследования с применением регистрации ЭЭГ или магнитоэнцефалографии (МЭГ). Анализ ЭЭГ и МЭГ, по сравнению с фМРТ и ПЭТ, обеспечивает более высокое временное разрешение, имеет меньше ограничений в исследованиях с участием детей, а также более позволяет проводить исследования в условиях близких к естественным. Процесс восприятия лиц с различной эмоциональной окраской сопровождается генерацией связанных с событием ЭЭГ-потенциалов [21, 7]. Однако экспериментальная парадигма регистрации таких потенциалов далека от жизненных ситуаций (неэкологична), т.к. требует многократного предъявления одних и тех же статичных изображений. Регистрация динамики ритмов ЭЭГ может применяться и при однократном предъявлении стимулов, а также при использовании динамических видеопрезентаций. Особую роль сочетание методов функциональной нейровизуализации и регистрации ЭЭГ, как взаимодополняющих друг друга, сыграло в анализе участия системы зеркальных нейронов (СЗН) человека при восприятии и опознании выражений лица.

Восприятие выражения лица обеспечивает понимание эмоционального состояния другого человека [25]. Теории имитации или симуляции (*simulation theories*) предполагают, что наблюдение за мимическими движениями окружающих активирует сенсомоторные репрезентации наблюдателя, участвующие в создании этих движений, что и помогает распознавать выражение лиц [26]. Исследования на обезьянах предоставили первое свидетельство механизма нейронного картирования, связывающего восприятие действия с его корковой моторной репрезентацией [23]. Т.н. «зеркальные нейроны» были впервые обнаружены в премоторной коре головного мозга обезьяны-макаки и представляют собой класс нейронов, которые активируются как во время выполнения действия, так и во время наблюдения за подобным действием. Данные исследований с использованием различных методов (фМРТ, ЭЭГ, записи с помощью глубоких электродов) подтверждают существование гомологичной СЗН у человека [27]. Ее основными центрами являются: нижняя и верхняя теменные доли (париетальный центр СЗН); нижняя лобная извилина и вентральная премоторная кора (фронтальный центр СЗН). Хотя

нейроны STS и не разряжаются при собственной двигательной активности, эта структура обеспечивает визуальный вход к указанным областям неокортекса, анализирует и передает информацию о биологических движениях и ее также включают в состав зеркальной системы [28].

На основе концепции СЗН была предложена схема функционирования нейрофизиологического механизма, лежащая в основе восприятия выражений лица. Как предполагается теориями имитации, при наблюдении за эмоциональной экспрессией другого человека у наблюдателя должны активироваться аналогичные нейронные процессы [29–31]. Действительно, в одном из первых исследований в этой области с применением фМРТ [32] и во время восприятия, и во время имитации эмоциональных выражений лиц у взрослых и типично развивающихся детей 10–14 лет наблюдали обширную двустороннюю активацию стриарной коры, первичных моторных и премоторных областей, лимбических структур (миндалины, островка и вентрального стриатума) и мозжечка. Также выявлялась повышенная двусторонняя активность в *pars opercularis* и *pars triangularis* нижней лобной извилины (поля 44 и 45 Бродмана, что соответствует ЭЭГ-отведению F8 [33]), более выраженная в правом полушарии.

Выражения лица включают как моторные, так и эмоциональные компоненты. Эти аспекты обрабатываются отдельными, но связанными зеркальными системами, которые работают вместе, чтобы способствовать распознаванию выражения лица. Наблюдение, имитация и исполнение эмоциональных и неэмоциональных выражений лица приводят к наложению паттернов нейронной активации, активируются одни и те же области мозга, однако восприятие и имитация эмоциональных реакций, по сравнению с неэмоциональными движениями вызывают значительно большую активацию в таких областях, как STS, медиальная височная и нижняя лобная извилины, дополнительная моторная область на внутренней поверхности полушарий, миндалина, островок [34]. Островок отводит особую роль во внутреннем переживании эмоций окружающих. Было высказано предположение, что нейронные сети данного участка коры связывает фронтальный компонент СЗН с лимбической системой, обеспечивая отображение наблюдаемого выражения на внутренние эмоциональные репрезентации. Это позволяет переводить наблюдаемое или имитируемое выражение лица в собственное эмоциональное состояние, внутренне прочувствовать эмоциональную значимость внешних проявлений чувств собеседника [23, 32, 35, 36].

Продукция, восприятие и опознание разных эмоциональных выражений лица активирует и разные зоны неокортекса. Используя фМРТ группа авторов из ФРГ [30] выявила, что при восприятии и генерации счастливого выражений лица (улыбки) возникает специфическая активация СЗН в правом височном полюсе. Ранее было установлено, что правая височная область важна для понимания внутреннего мира другого человека (гипотетический конструкт *«theory of mind»*) [37], а пациенты с повреждением височного полюса демонстрируют нарушение социального поведения, а также дефицит эмоциональной мимики [38]. Височный полюс анатомически и функционально взаимосвязан с миндалевидным телом, гиппокампом и островком. Также указанная выше группа [30] обнаружила

специфическую нервную активацию в *pars opercularis* левой нижней лобной извилины и мозжечке (билатерально) при формировании и восприятия гневного выражения лица. Известно, что указанные структуры активируются в условиях наблюдения и распознавания нарушения социальных норм [39]. Таким образом, это является дополнительным свидетельством, что отражение лицевой экспрессии окружающих людей в тех отделах мозга, которые отвечают за генерацию собственных эмоций, может поддерживать наше понимание ментальных или эмоциональных состояний других индивидов.

Нужно, однако учитывать, что пространственная локализация нейронного субстрата эмоций, в том числе СЗН, является весьма относительной. Согласно мета-анализу результатов фМРТ и ПЭТ [24], каждая конкретная эмоция обеспечивается активацией не только специализированных по отношению к ней областей мозга, но и областей, участвующих в генерации и восприятии других эмоций. Например, миндалевидное тело, которое имеет обширные связи как с кортикальными, так и с подкорковыми областями, широко вовлекается в восприятие и опознание эмоциональных состояний различной валентности, а также в процессы внимания и принятия решений.

Особый интерес представляет анализ изменений мощности мю-ритма ЭЭГ. Известно, что мощность данного ритма падает при выполнении или представлении собственных движений. Однако, поскольку снижение мощности мю-ритма также наблюдается, когда нервная система человека обрабатывает зрительную или слуховую информацию, поступающую при восприятии движений других людей, его динамика считается индикатором состояния СЗН (см. обзоры [40, 41]). Отметим, что в соответствии с рекомендациями [42], принято использовать термин «десинхронизация» мю-ритма, когда его мощность значительно снижается по сравнению с исходным, базовым периодом, «синхронизация» – когда мощность растет и «супрессия», когда мощность мю-ритма значительно снижается в разных условиях, но не обязательно ниже базовой линии. Десинхронизация и супрессия мю-ритма соответствует активации СЗН человека, синхронизация – торможению ее активности.

Одной из первых работ, где изучалась динамика мю-ритма ЭЭГ при восприятии эмоций, явилось исследование группы авторов из университета Калифорнии [43]. В ответ на предъявление черно-белых статичных изображений счастливых и выражающих отвращение лиц была обнаружена десинхронизация мю-альфа-ритма (8–13 Гц) в центральных отведениях. В правом полушарии динамика мощности мю-ритма при восприятии лиц с разным выражением значимо отличалась: наибольшая десинхронизация в ответ на лица, выражающие отвращение, развивалась через 500 мс, а на счастливое выражение лица – через 600–1500 мс после предъявления стимула. Авторы пришли к выводу, что результаты исследования подтверждают обработку эмоциональной лицевой экспрессии лица на основе механизма сенсомоторного зеркального отражения, причем восприятие отрицательных эмоций происходит быстрее, чем положительных. В последующей работе те же авторы [44] предъявляли видеозаписи с девятью разными выражениями лица, давая задания либо просто наблюдать, либо опознать и назвать эмоции. Десинхронизация мю-

ритма в последнем случае была более выражена, чем при простом наблюдении. Применение электромагнитной томографии низкого разрешения (*sLORETA*) выявило наибольшую супрессию мю-ритма в прецентральной извилине правого полушария и в нижней части теменной доли левого полушария. Авторы считают, что подавление мю-ритма связано участием СЗН человека в восприятии и классификации эмоций по выражению лица.

Работа авторов из Великобритании показала связь между активностью СЗН и особенностями личности, определяющими социальное взаимодействие [45]. Участниками исследования были взрослые здоровые люди с разной выраженностью аутистических черт: отчужденностью, проблемами в поддержании разговора, ригидностью. Анализировали связанную с событием десинхронизацию мю-бета- (12–20 Гц) и мю-альфа- (8–12 Гц) ритмов в центральных отведениях, предположительно отражающую активацию зеркальных нейронов в моторной и соматосенсорной коре, соответственно. Испытуемые с низким уровнем выраженности аутистических черт при восприятии видеозаписей счастливых лиц демонстрировали большую десинхронизацию мю-бета-ритма по сравнению с испытуемыми с высокой выраженностью таких черт. Авторы исследования предполагают, что такие особенности динамики ЭЭГ отражают снижение активации СЗН при восприятии счастливых лиц у людей с высоким уровнем аутистических черт. У испытуемых с выраженными аутистическими чертами выявили большую десинхронизацию указанного ритма в ответ на видеозаписи мимики сердитого лица. Вероятно, их СЗН более чувствительна к мимике, сопровождающей отрицательные эмоции.

В качестве контрольных изображений часто используют либо статичные неэмоциональные лица, либо неэмоциональные движения лица (открытие и закрытие рта, движения губ). Обнаружено, однако, что восприятие нейтрального или неопределенного выражения лица может вызывать даже большую десинхронизацию мю-ритма, чем четко выраженная эмоция удовольствия или печали [46]. В другой работе [47] показано, что вопреки ожиданию, изображения грустных лиц со слезами вызывают меньшую супрессию мю-ритма в центральных отведениях, чем изображения грусти без слез или радостных лиц со слезами. По мнению авторов обоих исследований, результаты анализа динамики мю-ритма ЭЭГ могут указывать на то, что ограниченная доступность эмоциональной информации при нейтральном или неопределенном состоянии лица требует большей активации СЗН при расшифровке информации, связанной с эмоциями, чем полноценные счастливые или грустные выражения, которые легче распознать. В то же время, когда информация об эмоциях представлена с высокой интенсивностью, когнитивная задача распознавания может не требовать активации СЗН, что приведет к отсутствию или уменьшению супрессии мю-ритма.

В последние годы растет признание важности осцилляций разных частотных диапазонов ЭЭГ в обеспечении нейронной коммуникации внутри функциональных нейронных сетей и между ними (см. обзор [48]). Лица, выражающие эмоции, вызывают в затылочно-теменных областях более сильную дельта-синхронизацию, чем восприятие лиц с нейтральным выражением. Еще более тесно связана с

восприятием эмоциональной лицевой экспрессии динамика тета-диапазона ЭЭГ. Предполагается, что ранняя тета-синхронизация (150–250 мс), развивающаяся в теменных и затылочных областях, отражает начальное кодирование эмоционально значимой сенсорной информации, более поздняя лобно-центральная тета-синхронизация (250–300 мс) соответствует дальнейшей обработке сенсорной информации при ее сопоставлении с внутренними представлениями. Кроме того, выполнение задач на различение эмоций на фотографиях лиц приводит к усилению когерентности тета-ритма между теменной областью и другими корковыми регионами правого полушария [49]. Усиление тета-синхронизации способствует взаимодействию между областями мозга, участвующими в раннем обнаружении и интеграции эмоциональных выражений лица. Кроме того, известно, что повышение синхронизации в диапазоне тета-ритма ЭЭГ отражает кодирование и декодирование информации при обращении к ресурсам памяти. Наиболее выражена синхронизация тета-ритма у индивидов с высокими показателями эмоционального интеллекта [50].

Обнаружена также повышенная гамма-синхронизация в миндалине при восприятии выражения страха по сравнению с нейтральным выражением лица [48]. Ранний временной характер гамма-синхронизации (50–150 мс) подтверждает наличие подкоркового пути, участвующего в быстром обнаружении эмоционально значимых черт лица. Гамма-синхронизация также наблюдалась над префронтальной корой на более поздней стадии эмоционального восприятия лица. Считается, что, гамма-синхронизация отражает облегчение взаимодействия эмоционально окрашенной информации в таких областях, как префронтальная кора, STS и миндалевидное тело.

3. Восприятие эмоциональной лицевой экспрессии у детей и его нейрофизиологические механизмы

Обработка эмоционального выражения лица особенно важна на ранних этапах развития ребенка, поскольку благодаря ей маленькие дети приобретают социальные и коммуникативные навыки. Прежде чем овладеть речью, младенцы понимают эмоции других преимущественно посредством «чтения» лиц, что продолжает играть решающую роль во время социальных взаимодействий на протяжении всего детства. Восприятие эмоциональной лицевой экспрессии и опознание ее валентности обычно проявляется у детей в возрасте от пяти до семи месяцев в распознавании шести относительно простых эмоций (счастья, грусти, страха, гнева, отвращения, удивления) [7, 51]. Способность к различению выражений лица уже достаточно хорошо развита к концу первого года жизни, но умение точно распознавать различные эмоционального выражения постепенно развивается на протяжении всего детства. Объем фузиформной извилины и функциональная связность других участков коры, отвечающих за восприятие лиц, увеличивается с возрастом. Это увеличение коррелирует с улучшением распознавания лиц и их выражений. В три года дети уже могут не только различить, но назвать основные эмоции, отраженные на лице человека. К десяти годам дети, когда их просят сопоставить нейтральные, удивленные, счастливые выражения лиц, а также выражение отвращения, выполняют задания так же успешно, как и взрослые.

Однако более сложные эмоции (такие как ревность или вина) отличаются тем, что они в большей степени зависят от контекста, связаны с развитием конструкта «*theory of mind*» и принятием решений на основе убеждений. Учитывая возросшую сложность этих эмоций, их обработка достигает зрелости значительно позже, в подростковом и взрослом возрасте. Наконец, следует отметить, что во всех возрастных группах испытуемые женского пола обладают в распознавании эмоциональных выражений некоторым преимуществом по сравнению с мальчиками и мужчинами.

Активация СЗН во время наблюдения и генерации мимических реакций проявляется уже в раннем детстве. Так у детей в возрасте 30-ти месяцев выявлена десинхронизация мио-ритма в левом и правом полушариях (локусы С3и С4) во время выполнения движений лица, не связанными с эмоциями, и наблюдения за подобными движениями. Для эмоциональной экспрессии десинхронизация была правосторонней, что соответствовало концепции доминирования правого полушария при эмоциональной обработке лица [52]. Вероятно, благодаря развитию СЗН дети этого возраста становятся более способными к чтению психических состояний и эмоций других, начинают проявлять больше сочувствия по отношению к родителям и сверстникам. У более старших детей (10–12 лет) паттерн изменений мио-ритма, и, следовательно, активации СЗН при восприятии мимики аналогичен таковому у взрослых [32].

4. Нарушения нейрофизиологических механизмов восприятия эмоциональной лицевой экспрессии при расстройствах аутистического спектра

Многочисленные поведенческие проблемы больных с РАС частично объясняются трудностями в распознавании эмоций других людей на протяжении всей траектории развития. Исследования указывают на межкультурное проявление таких проблем, что свидетельствует об их универсальном характере в популяции больных с РАС [53]. Однако в представлениях о степени нарушения распознавания лицевой экспрессии у аутистов имеются противоречия. Исследования одних авторов показали, что в задачах распознавания выражений лица индивиды с РАС не отличаются от своих типично развивающихся сверстников [54], в то время как большинство авторов заключает, что по крайней мере часть аутистов испытывает серьёзные трудности с распознаванием эмоций [7, 55]. Противоречия могут объясняться демографическими характеристиками участников исследований (различиями в возрасте, интеллектуальных способностях) или сопутствующими заболеваниями. Другие возможные объяснения указывают на компенсаторные стратегии, используемые людьми с РАС, которые устраняют некоторые проявления неврологических нарушений [32].

Было обнаружено, что дети с РАС хуже различают разные эмоциональные выражения на фотографиях. Они имеют более низкую правую фронтальную тета-когерентность по сравнению со здоровыми детьми 8–18 лет и не показывают такого же увеличения тета-когерентности, наблюдаемого у типично развивающихся детей в ответ на эмоциональные лица по сравнению с нейтральными лицами. Кроме того, дети с более низкой тета-когерентностью, по-видимому, имели более выраженную

симптоматику аутизма [56]. У взрослых больных, страдающих РАС, в отличие от нейротипичных людей, выполнение задач на различение эмоций на фотографиях лиц не приводит к усилению когерентности тета-ритма между теменной областью и другими корковыми регионами правого полушария [49]. Предполагают [49, 56], что сниженная тета-синхронизация может указывать на нетипичную связь между нейронными сетями, включающими миндалину и гиппокамп, что приводит к менее эффективному кодированию новой информации и извлечения из памяти образов эмоциональных выражений лиц. Постулировали [49], что наблюдаемое сокращение мощности в тета- и дельта-диапазонах ЭЭГ у людей с РАС может указывать на нарушение автоматической обработки эмоций, в то время как повышенная альфа- и бета- десинхронизация в теменно-затылочной области могут отражать усиление сознательного контроля над визуальной обработкой. Изменение динамики альфа- и бета-ритмов свидетельствует, вероятно, об использовании стратегий, компенсирующих слабые стороны автоматических процессов распознавания эмоций.

Нужно отметить, что для больных с РАС вообще характерна пониженная функциональная связность между отдаленными регионами мозга при локальной гиперсвязности (см. обзор [3]). В этом контексте особый интерес представляет серия работ группы исследователей из Канады [57–59], в которых анализировали функциональную связность областей мозга при восприятии лиц. В экспериментах участвовали типично развивающиеся дети и дети с РАС. Использовали неявное предъявление эмоционального стимула: кратковременную (80 мс) экспозицию изображения счастливого или гневного лица параллельно с целевым объектом (скремблированное изображение), что вовлекало бессознательные, автоматизированные механизмы обработки эмоциональной экспрессии. Регистрация МЭГ показала, что у детей с РАС в возрасте 12–15 лет фазовая синхронизация бета-ритма в распределенной сети, включающей правую веретенообразную извилину и островок, при восприятии гневных выражений лиц в первые 400 мс после предъявления стимулов была снижена по сравнению с показателями контрольной группы сверстников [57]. Уменьшение бета-синхронизации может отражать неадекватное привлечение релевантных для задачи нейронных сетей во время эмоциональной обработки лица при РАС. В альфа-диапазоне у детей с РАС в возрасте 7–10 лет в ответ на аналогичные стимулы выявлена сеть повышенной фазовой синхронизации [59]. Эта сеть включала левую *LFG*, правую островковую кору и лобные области. На основании полученных результатов авторы исследования приходят к выводу, что обработка семантической информации о счастливых лицах у детей с РАС требует контроля, направленного сверху вниз. Таким образом, повышенная фазовая синхронность альфа-диапазона может указывать на неадекватное восприятие счастливых лиц на бессознательном уровне и компенсаторное вовлечение мозговых механизмов более высокого уровня.

Нарушение связности между мозговыми центрами, анализирующими выражения лиц лежит в основе необычного паттерна активации у детей с РАС. Анализ результатов фМРТ [58] выявил у типично развивающихся детей большую активацию правой височной области в ответ на экспозицию гневных лиц. В отличие

от них дети с РАС демонстрировали во фронтальной и височной областях большую активацию при предъявлении счастливых лиц, что свидетельствует о том, что они не воспринимали гневные лица как необычные, в отличие здоровых сверстников. По мнению канадских исследователей, сниженная нейронная активация в отношении сердитых лиц по сравнению со счастливыми лицами у детей с РАС предполагает пониженную чувствительность к проявлениям эмоции гнева у окружающих, что, в свою очередь, может способствовать дефициту социального познания при РАС.

Ряд авторов [7, 6] высказывает предположение, что каскад нарушений, характерных для РАС, включая дефицит имитации, недостаточное развитие конструкта «*theory of mind*» и социальной коммуникации может быть обусловлен дисфункцией СЗН. Действительно, в пользу этого предположения может свидетельствовать отсутствие или снижение десинхронизации мю-ритма у больных с РАС при наблюдении за разного рода действиями окружающих [6]. В перечне таких действий находятся и мимические реакции. Как отмечалось выше, описана нейронная сеть, в которой островок действует как интерфейс между фронтальным компонентом СЗН и лимбической системой, что позволяет индивиду переводить наблюдаемое или имитируемое выражение лица в собственное эмоциональное состояние, внутренне прочувствовать значимость внешних проявлений эмоций окружающих. Исследователи из Калифорнийского университета [32] наблюдали активацию миндалины, зрительной коры, премоторных и моторных областей представительства лица в группе 10–12 летних детей с РАС, сходную с таковой у контрольной группы здоровых детей. Такая активация указывает, что дети с РАС действительно обращали внимание на раздражители и имитировали выражения лиц. Однако, в отличие от типично развивающихся детей, группа РАС не показала «зеркальной» активности в *pars opercularis* нижней лобной извилины. Поскольку механизм зеркального отражения, по-видимому, не полностью задействован у детей с РАС, им приходится использовать альтернативную стратегию дополнительной активации внимания, при которой эмоциональное значение выражения лица, вероятно, не переживается внутренне.

Активация СЗН может вызывать непровольные собственные мимические реакции (феномен эмоциональной мимикрии). Такие реакции являются одним из механизмов, поддерживающих и укрепляющих отношения в группе. Пациенты с аутизмом сталкиваются с проблемами в общении с окружающими из-за отсутствия этой спонтанной мимики, что также приводит к трудностям при установлении контакта с другими людьми [61].

Таким образом, атипичные паттерны активности мю-ритма, обнаруженные у людей с высокой симптоматикой аутизма, свидетельствуют в пользу предположения, что недостаточная активность СЗН, участвующей в понимании действий, может способствовать нарушению восприятия и генерации эмоциональной лицевой экспрессии при РАС и, как следствие, драматически затрудняют социальное взаимодействие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных литературы свидетельствует об успешности применения методов ай-трекинга, нейровизуализации (фМРТ и ПЭТ), а также регистрации ЭЭГ в изучении механизмов восприятия эмоциональной лицевой экспрессии. В последние два десятилетия показана важная роль «зеркальных нейронов» в этом процессе у детей и взрослых, а также связь нарушений функционирования СЗН с симптомами РАС. Особенности глазодвигательных паттернов и осцилляторной активности неокортекса, выявленные при обработке изображений эмоционально выразительных лиц, могут оказаться ценными маркерами с точки зрения ранней диагностики РАС и иных нарушений развития. Важно отметить, что идентификация ЭЭГ-маркеров и паттернов глазодвигательных реакций у здоровых людей и индивидов с РАС может стать основой разработки эффективных методов коррекции развития детей на основе тренингов с применением биологической обратной связи. Такие тренинги могут помочь людям с РАС повысить их способность воспринимать и распознавать эмоции и как следствие, улучшить их социальное взаимодействие с окружающими.

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

Список литературы

1. Ekman P. Facial expressions of emotion. / P. Ekman, H. Oster // Annual Reviews in Psychology. – 1979. – Vol. 30. – P. 527–554.
2. Somerville L. H. Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan / L. H. Somerville, N. Fani, E. B. McClure-Tone // Dev. Neuropsychol. – 2011. – Vol. 36, No 4. – P. 408–28.
3. Павленко Д. В. Методы коррекции развития детей с аутизмом на основе биологической обратной связи по ЭЭГ / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73), №. 1. – С. 124–140.
4. Симашкова Н. В. Расстройства аутистического спектра: диагностика, лечение, наблюдение / Н. В. Симашкова, Е. В. Макушкин // Москва: ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр психиатрии и наркологии им. В. П. Сербского» Минздрава России, 2015. – 50 с.
5. Williams J. H. Imitation, mirror neurons and autism / J. H. Williams, A. Whiten, T. Suddendorf, D. I. Perrett // Neurosci. Biobehav. Rev. – 2001. – Vol. 25, No 4. – P. 287–295.
6. Oberman L. M. The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders / L. M. Oberman, V. S. Ramachandran // Psychol. Bull. – 2007. – Vol. 133, No 2. – P. 310–327.
7. Black M. H. Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography / M. H. Black, N. T. Chen, K. K. Iyer // Neurosci. and Biobehav. Rev. – 2017. – Vol. 80. – P. 488–515.
8. Vaidya A. R. Eye spy: the predictive value of fixation patterns in detecting subtle and extreme emotions from faces / A. R. Vaidya, C. Jin, L. K. Fellows // Cognition. – 2014. – Vol. 133, No 2. – P. 443–456.
9. Malcolm G. L. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects / G. L. Malcolm, L. J. Lanyon, A. J. B. Fugard // Journal of vision – 2008. – Vol. 8, No 2. – P. 1–9.

10. Барабанщиков В. А. Окуломоторная активность при восприятии динамических и статических выражений лица / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло // Экспериментальная психология. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 5–34.
11. Haensel J. X. Cultural influences on face scanning are consistent across infancy and adulthood / J. X. Haensel, M. Ishikawa, S. Itakura // *Infant Behav. Dev.* – 2020. – Vol. 61 (Epub.).
12. Klin A. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism / A. Klin, W. Jones, R. Volkmar, D. Cohen // *Archives of general psychiatry.* – 2002. – Vol. 59, No 9. – P. 809–816.
13. Riby D. Viewing it differently: Social scene perception in Williams syndrome and Autism / D. Riby, P. Hancock // *Neuropsychologia.* – 2008 – Vol. 46. – P. 2855–2860.
14. Дягилева Ю. О. Особенности движений глаз у детей раннего возраста с расстройством аутистического спектра при зрительном восприятии социально значимых стимулов / Ю. О. Дягилева, А. С. Котович, Л. С. Орехова, А. А. Михайлова, В. Б. Павленко // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия.* – 2017. – Т. 3 (69). – № 3. – С. 21–28.
15. Dalton K. M. Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism / K. M. Dalton, B. M. Nacewicz, T. Johnstone, H. S. Schaefer, M. A. Gernsbacher, H. H. Goldsmith, A. L. Alexander, R. J. Davidson // *Nature Neuroscience* – 2005. – Vol. 8, No 4. – P. 519–526.
16. White S. Fear of negative evaluation influences eye gaze in adolescents with autism spectrum disorder: a pilot study / S. White, B. Maddox, R. Panneton // *J. Autism Dev. Disord.* – 2015. – Vol. 45, No 11. – P. 3446–3457.
17. Falck-Ytter T. Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism / T. Falck-Ytter, E. Fernell, C. Gillberg, C. Hofsten // *Dev. Sci.* – 2010. – Vol. 13, No 6. – P. 864–875.
18. Tottenham N. Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder / N. Tottenham, M. Hertzog, K. Gillespie-Lynch, T. Gilhooly, A. Millner, B. Casey // *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.* – 2014. – Vol. 9, No 1. – P. 106–117.
19. Nuske H. Pupillometry reveals reduced unconscious emotional reactivity in autism / H. Nuske, J. Vivanti, K. Hudry, C. Dissanayake // *Biol. Psychol.* – 2014. – Vol. 101, No 1. – P. 24–35.
20. Adolphs R. Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms / R. Adolphs // *Neurosci. Rev.* – 2002. – Vol. 1, No 1. – P. 21–62.
21. Михайлова Е. С. Нейробиологические основы опознания человеком эмоций по лицевой экспрессии / Е. С. Михайлова // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова.* – 2005. – Т. 55, № 2. – С. 149–162
22. Dekowska M. Facing facts: neuronal mechanisms of face perception / M. Dekowska, M. Kuniecki, P. Jaśkowski // *Acta Neurobiol. Exp. (Wars.)*. – 2008. – Vol. 68, No 2. – P. 229–252.
23. Риццоллатти Д. Зеркала в мозге: О механизмах совместного действия и сопереживании / Д. Риццоллатти, К. Синигалья. – Москва: Языки славянских культур, 2012. – 222 с.
24. Xu P. Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence / P. Xu, S. Peng, Y. Luo, G. Gong // *Neurosci. and Biobeh. Rev.* – 2021. – Vol. 127 – P. 820–836.
25. Decety J. From emotion resonance to empathic understanding: A social developmental neuroscience account / J. Decety, M. Meyer // *Development and Psychopathology* – 2008– Vol. 20, No 4. – P. 1053–1080.
26. Adolphs R. How do we know the minds of others? Domain-specificity, simulation, and enactive social cognition / R. Adolphs // *Brain Res.* – 2006– Vol. 1079, No 1. – P. 25–35.
27. Molenberghs P. Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies / P. Molenberghs, R. Cunnington, J. B. Mattingley // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2012. – Vol. 36, No 1. – P. 341–349.
28. Keysers C. Demystifying social cognition: a Hebbian perspective / C. Keysers, D. I. Perrett // *Trends Cogn. Sci.* – 2004. – Vol. 8, No 11. – P. 501–507.
29. Gallese V. What is so special about embodied simulation? / V. Gallese, C. Sinigaglia // *Trends Cogn. Sci.* – 2011. – Vol. 15, No 11. – P. 512–519.
30. Krauthaim J. T. Emotion specific neural activation for the production and perception of facial expressions / J. T. Krauthaim, M. Steines, U. Dannlowski, G. Neziroğlu, H. Acosta, J. Sommer, B. Straube, T. Kircher // *Cortex.* – 2020. – Vol. 127. – P. 17–28.

31. Schmidt S. N. L. fMRI adaptation reveals: The human mirror neuron system discriminates emotional valence / S. N. L. Schmidt, C. A. Sojer, J. Hass, P. Kirsch, D. Mier // *Cortex*. – 2020. – Vol. 128. – P. 270–280.
32. Dapretto M. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders / D. Dapretto, M. S. Davies, J. H. Pfeifer, A. A. Scott, M. Sigman, S. Y. Bookheimer, M. Iacoboni // *Nat. Neurosci.* – 2006. – Vol. 9, No 1. – P. 28–30.
33. Koessler L. Automated cortical projection of EEG sensors: anatomical correlation via the international 10-10 system / L. Koessler, L. Maillard, A. Benhadid, J. P. Vignal, J. Felblinger, H. Vespignani, M. Braun // *Neuroimage*. – 2009. – Vol. 46, No 1. – P. 64–72.
34. Kircher T. Affect-specific activation of shared networks for perception and execution of facial expressions / T. Kircher, A. Pohl, S. Krach, M. Thimm, M. Schulte-Rüther, S. Anders, K. Mathiak // *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* – 2013. – Vol. 8, No 4. – P. 370–377.
35. Carr L. Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas / L. Carr, M. Iacoboni, M. C. Dubeau, J. C. Mazziotta, G. L. Lenzi // *Proc. Nat. Acad. Sci. U S A*. – 2003. – Vol. 100, No 9. – P. 5497–5502.
36. Rizzolatti G. Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding / G. Rizzolatti, L. Cattaneo, M. Fabbri-Destro, S. Rozzi // *Physiol. Rev.* – 2014. – Vol. 94, No 2. – P. 655–706.
37. Krauthaim J. T. Intergroup empathy: Enhanced neural resonance for ingroup facial emotion in a shared neural production-perception network / J. T. Krauthaim, U. Dannlowski, M. Steines, G. Neziroglu, H. Acosta, J. Sommer // *Neuroimage*. – 2019. – Vol. 194, No 3. – P. 182–190.
38. Olson I. R. The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing / I. R. Olson, A. Plotzker, Y. Ezzyat // *Brain*. – 2007. – Vol. 130, No 7. – P. 1718–1731.
39. Berthoz S. An fMRI study of intentional and unintentional (embarrassing) violations of social norms / S. Berthoz, J. L. Armony, R. J. R. Blair, R. J. Dolan // *Brain*. – 2002. – Vol. 125, No 8. – P. 1696–1708.
40. Pineda J. The functional significance of mu rhythms: translating seeing and hearing into doing / J. Pineda // *Brain Res. Rev.* – 2005. – Vol. 50. – P. 57–68.
41. 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. Биология. Химия*. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.
42. Cuevas K. The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices / K. Cuevas, E. N. Cannon, K. Yoo, N. Fox // *Dev. Rev.* – 2014. – Vol. 34, No 1 – P. 26–43.
43. Moore A. EEG mu component responses to viewing emotional faces / A. Moore, I. Gorodnitsky, J. Pineda // *Behav. Brain Res.* – 2012. – Vol. 226, No 1. – P. 309–316.
44. Moore M. R. Mu rhythm suppression is associated with the classification of emotion in faces / M. R. Moore, E. A. Franz // *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* – 2017 – Vol. 17. – P. 224–234.
45. Cooper N. Beta event-related desynchronization as an index of individual differences in processing human facial expression: further investigations of autistic traits in typically developing adults / N. Cooper, A. Simpson, A. Till, K. Simmons, I. Puzzo // *Front. Hum. Neurosci.* – 2013. – Vol. 7. – P. 1–8.
46. Karakale O. Mental simulation of facial expressions: mu suppression to the viewing of dynamic neutral face videos / O. Karakale, M. R. Moore, I. J. Kirk // *Frontiers in human neuroscience*. – 2019. – Vol. 13 (Epub.).
47. Krivan S. J. I'll cry instead: mu suppression responses to tearful facial expressions / S. J. Krivan, N. Caltabiano, D. Cottrell, N. A. Thomas // *Neuropsychologia*. – 2020. – Vol. 153 (Epub.).
48. Symons A. E. The functional role of neural oscillations in non-verbal emotional communication / A. E. Symons, W. El-Dereby, W. Schwartze, S. A. Kotz // *Front. Hum. Neurosci.* – 2016. – Vol. 10 (Epub.).
49. Tseng Y. Voluntary attention in asperger's syndrome: brain electrical oscillation and phase-synchronization during facial emotion recognition / Y. Tseng, H. Yang, A. Savostyanov, V. Chien, M. Liou // *Res. Autism Spectr. Disord.* – 2015. – Vol. 13, No 14. – P. 32–51.
50. Князев Г. Г. Эмоциональный интеллект и осцилляторные ответы на эмоциональные выражения лиц / Г. Г. Князев, Л. Г. Митрофанова, А. В. Бочаров // *Физиология человека*. – 2013. – Т. 39, № 4. – С. 41–49.

51. Somerville L. H. Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan / L. H. Somerville, N. Fani, E. B. McClure-Tone // *Dev Neuropsychol.* – 2011. – Vol. 36, No 4. – P. 408–428.
52. Rayson H. Mu desynchronization during observation and execution of facial expressions in 30-month-old children / H. Rayson, J. J. Bonaiuto, P. F. Ferrari, L. Murray // *Dev. Cogn. Neurosci.* – 2016. – Vol. 19. – P. 279–287.
53. Fridenson-Hayo S. Basic and complex emotion recognition in children with autism: cross cultural findings / S. Fridenson-Hayo, S. Berggren, A. Lassalle, S. Tal, D. Pigat, D. Bolte, O. Golan // *Mol. Biol.* – 2016. – Vol. 7 (Epub.).
54. Evers K. No differences in emotion recognition strategies in children with Autism Spectrum Disorder: evidence from hybrid faces / K. Evers, I. Kerkhof, J. Steyaert, I. Noens, J. Wagemans // *Autism Res. Treat.* – 2014. – Vol. 2014 (Epub.).
55. Nuske H. Are emotion impairments unique to, universal, or specific in autism spectrum disorder? A comprehensive review / H. Nuske, G. Vivanti, C. Dissanayake // *Cognit. Emotion.* – 2013. – Vol. 27, No 6. – P. 1042–1061.
56. Yeung M. Altered right frontal cortical connectivity during facial emotion recognition in children with autism spectrum disorders / M. Yeung, Y. Han, S. Sze, A. Chan // *Res. Autism Spectr. Disord.* – 2014. – Vol. 8, No 11. – P. 1567–1577.
57. Leung R. C. Reduced beta connectivity during emotional face processing in adolescents with autism / R. C. Leung, A. X. Ye, S. M. Wong, M. J. Taylor, S. M. Doesburg // *Mol. Autism.* – 2014. – Vol. 5 (Epub.).
58. Leung R. C. Happy and Angry Faces Elicit Atypical Neural Activation in Children With Autism Spectrum Disorder / R. C. Leung, E. W. Pang, J. A. Brian, M. J. Taylor // *Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging.* – 2019. – Vol. 4, No 1. – P. 1021–1030.
59. Safar K. Increased functional connectivity during emotional face processing in children with autism spectrum disorder / K. Safar, S. M. Wong, R. C. Leung, B. T. Dunkley, M. J. Taylor // *Front Hum Neurosci.* – 2018. – Vol. 12 (Epub.).
60. Williams J. H. Imitation, mirror neurons and autism / J. H. Williams, A. Whiten, T. Suddendorf, D. I. Perrett // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – 2001. – Vol. 25, No 4. – P. 287–295.
61. Watanabe A. Representation of the brain network by electroencephalograms during facial expressions / A. Watanabe, T. Yamazaki // *J. Neurosci. Methods.* – 2021. – Vol. 357 (Epub.).

NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF FACIAL EXPRESSION PERCEPTION AND THEIR FEATURES IN AUTISTIC SPECTRUM DISORDERS

Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Pavlenko V. B.

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

The article is a review of works devoted to the perception of emotional facial expression and the recognition of its valence in neurotypical children and adults, as well as in individuals with autism spectrum disorders (ASD). The main results of research in this area, obtained with the use of eye tracking, neuroimaging and registration of the oscillatory activity of the cerebral cortex. Many researchers have found that, in order to recognize pronounced emotional expressions, people pay the most attention to the area of the mouth. However, when identifying the most subtle emotions, as well as when perceiving dynamic images of faces, subjects fix their gaze at the eye area. Children with

ASD display abnormal oculomotor patterns on face perception. Studies have shown that when presented with a series of static images and videos of inanimate objects, people and human faces, autists look more at objects of a non-social nature. A number of researchers have found that adolescents with ASD, compared to neurotypical individuals, spend more time looking at the mouth and less in the eye area. However, not all works confirm this.

Using neuroimaging, the researchers found that the earliest processing of information about faces is triggered when the amygdala is activated. Signals to it come directly from the superior colliculus of the corpora quadrigemina. In parallel with these processes, the streams of impulses carrying information about the characteristics of persons first come from the external geniculate body into the primary visual cortex, and then into the lateral fusiform gyrus and into the area of the superior temporal sulcus. Following these structures, the associated insular cortical region, inferior forehead and orbitofrontal parts of the frontal cortex are activated. Thus, a distributed system of cortical and subcortical structures is responsible for the perception of facial expression. The human mirror neuron system (MNS) plays an important role in understanding emotions. The indicator of its activity is the dynamics of the power of the EEG mu-rhythm.

Emotional facial processing is especially important in the early stages of a child's development, as it helps young children acquire social and communication skills. MNS activation during observation and generation of mimic reactions manifests itself already in early childhood. At the age of three, children can no longer only distinguish, but name the main emotions reflected on a person's face. It was found that children with ASD are worse at distinguishing between different emotional expressions. A number of researchers suggest that a cascade of disorders characteristic of ASD, including difficulties in the perception of emotions, insufficient development of the "theory of mind" construct and social communication, may be due to dysfunction of MNS. Indeed, this assumption may be supported by the absence or decreased desynchronization of the mu rhythm in patients with ASD when observing the faces of others. Since the mechanism of mirroring does not appear to be fully utilized in children with ASD, they have to use an alternative strategy of additional attention activation, in which the emotional meaning of facial expressions is probably not internally experienced.

The authors of this review note that the identification of EEG markers and patterns of oculomotor reactions in healthy people and individuals with ASD can become the basis for the development of effective methods for correcting the development of children based on trainings using biofeedback. Such trainings can help people with ASD improve their ability to perceive and recognize emotions and, as a result, improve their social interaction with others.

Keywords: emotional facial expressions, oculomotor activity, autism spectrum disorders, EEG, mirror neuron system.

References

1. Ekman P. and Oster H., Facial expressions of emotion, *Annual Reviews in Psychology*, **30**, 527 (1979).
2. Somerville L. H., Fani N. and McClure-Tone E. B., Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan, *Dev. Neuropsychol.*, **36**, 408 (2011).

3. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B., Methods for correcting the development of children with autism based on biological feedback by EEG, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7 (73)**, 124 (2021).
4. Simashkova N. V. and Makushkin E. V., *Autism spectrum disorders: diagnosis, treatment, observation*, 50 p. (Moscow, 2015).
5. Williams J. H., Whiten A., Suddendorf T. and Perrett D. I., Imitation, mirror neurons and autism, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **25**, 287 (2001).
6. Oberman L. M. and Ramachandran V. S., The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders, *Psychol. Bull.*, **133**, 310 (2007).
7. Black M. H., Chen N. T. M., Iyer K. K., Lipp O. V., Bölte S., Falkmer M., Tan T. and Girdler S., Mechanisms of facial emotion recognition in autism spectrum disorders: Insights from eye tracking and electroencephalography, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **80**, 488 (2017).
8. Vaidya A. R., Jin C. and Fellows L. K., Eye spy: the predictive value of fixation patterns in detecting subtle and extreme emotions from faces, *Cognition*, **133**, 443 (2014).
9. Malcolm G. L., Lanyon L. J., Fugard A. J. B. and Barton J. J. S., Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects, *J. of Vision*, **8**, 1 (2008).
10. Barabanshikov V. A. and Zhegallo A. V., Okulomotor activity at the perception of dynamic and static expressions of the face, *Ekspierimental'naya psikhologiya / Experimental psychology (Russia)*, **11**, 5 (2018).
11. Haensel J. X., Ishikawa M., Itakura S., Smith T. J. and Senju A. Cultural influences on face scanning are consistent across infancy and adulthood, *Infant Behav. Dev.*, **61** (Epub.). (2020).
12. Klin A., Jones W., Schultz R., Volkmar F. and Cohen D. Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism, *Archives of general psychiatry*, **59**, 809 (2002).
13. Riby D. and Hancock P., Viewing it differently: Social scene perception in Williams syndrome and Autism, *Neuropsychologia*, **46**, 2855 (2008).
14. Dyagileva Yu. O., Kotovich A. S., Orehova L. S., Michailova A. A. and Pavlenko V. B., Tracking of eye movements in children with ASD symptoms at visual perception of social stimuli, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **3 (69)**, 21 (2017).
15. Dalton K. M., Nacewicz B. M., Johnstone T., Schaefer H. S., Gernsbacher M. A., Goldsmith H. H., Alexander A. L. and Davidson R. J., Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism, *Nature Neuroscience*, **8**, 519 (2005).
16. White S., Maddox B. and Panneton R., Fear of negative evaluation influences eye gaze in adolescents with autism spectrum disorder: a pilot study, *J. Autism Dev. Disord.*, **45**, 3446 (2015)
17. Falck-Ytter T., Fernell E., Gillberg C. and von Hofsten C., Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism, *Dev. Sci.*, **13**, 864 (2010).
18. Tottenham N., Hertzog M., Gillespie-Lynch K., Gilhooly T., Millner A. and Casey B., Elevated amygdala response to faces and gaze aversion in autism spectrum disorder, *Soc. Cognit. Affect. Neurosci.*, **9**, 106 (2014).
19. Nuske H., Vivanti J., Hudry K. and Dissanayake C., Pupillometry reveals reduced unconscious emotional reactivity in autism, *Biol. Psychol.*, **101**, 24 (2014).
20. Adolphs R., Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms, *Behav. Cogn. Neurosci. Rev.*, **1**, 21 (2002).
21. Mikhailova E. S., Neurobiological basis of human recognition of facial emotion, *Zh. Vyssh. Nerv. Deiat.*, **55**, 149 (2005).
22. Dekowska M., Kuniecki M. and Jaśkowski P., Facing facts: neuronal mechanisms of face perception, *Acta Neurobiol. Exp. (Wars)*, **68**, 229 (2008).
23. Rizzolatti G. and Sinigaglia C., *Mirrors in the Brain: How Our Minds Share Actions, Emotions, and Experience*, 242 p. (Oxford University Press, 2008).
24. Xu P., Peng S., Luo Y. and Gong G., Facial expression recognition: A meta-analytic review of theoretical models and neuroimaging evidence, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **127**, 820 (2021).

25. Decety J. and Meyer M., From emotion resonance to empathic understanding: A social developmental neuroscience account, *Development and Psychopathology*, **20**, 1053 (2008).
26. Adolphs R., How do we know the minds of others? Domain-specificity, simulation, and enactive social cognition, *Brain Res.*, **1079**, 25 (2006).
27. Molenberghs P., Cunnington R. and Mattingley J. B., Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **36**, 341 (2012).
28. Keysers C. and Perrett D. I., Demystifying social cognition: a Hebbian perspective, *Trends Cogn. Sci.*, **8**, 501 (2004).
29. Gallese V., Sinigaglia C., What is so special about embodied simulation? *Trends Cogn. Sci.*, **15**, 512 (2011).
30. Krautheim J. T., Steines M., Dannlowski U., Neziroğlu G., Acosta H., Sommer J., Straube B. and Kircher T., Emotion specific neural activation for the production and perception of facial expressions, *Cortex*, **127**, 17 (2020).
31. Schmidt S. N. L., Sojer C. A., Hass J., Kirsch P. and Mier D., fMRI adaptation reveals: The human mirror neuron system discriminates emotional valence, *Cortex*, **128**, 270 (2020).
32. Dapretto M., Davies M. S., Pfeifer J. H., Scott A. A., Sigman M., Bookheimer S. Y. and Iacoboni M., Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders, *Nat. Neurosci.*, **9**, 28 (2006).
33. Koessler L., Maillard L., Benhadid A., Vignal J. P., Felblinger J., Vespignani H. and Braun M., Automated cortical projection of EEG sensors: anatomical correlation via the international 10-10 system, *Neuroimage*, **46**, 64 (2009).
34. Kircher T., Pohl A., Krach S., Thimm M., Schulte-Rüther M., Anders S. and Mathiak K., Affect-specific activation of shared networks for perception and execution of facial expressions, *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, **8**, 370 (2013).
35. Carr L., Iacoboni M., Dubeau M. C., Mazziotta J. C. and Lenzi G. L., Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **100**, 5497 (2003).
36. Rizzolatti G., Cattaneo L., Fabbri-Destro M. and Rozzi S., Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding, *Physiol. Rev.*, **94**, 655 (2014).
37. Krautheim J. T., Dannlowski U., Steine M., Neziroglu G., Acosta H. and Sommer J., Intergroup empathy: Enhanced neural resonance for ingroup facial emotion in a shared neural production-perception network. *Neuroimage*, **194**, 182 (2019).
38. Olson I.R., Plotzker A. and Ezzyat Y., The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing, *Brain*, **130**, 1718 (2007).
39. Berthoz S., Armony J. L., Blair R. J. R. and Dolan R. J. An fMRI study of intentional and unintentional (embarrassing) violations of social norms, *Brain*, **125**, 1696 (2002).
40. Pineda J., The functional significant of mu rhythms: translating seeing and hearing into doing, *Brain Res. Rev.*, **50**, 57 (2005).
41. 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).
42. Cuevas K., Cannon E. N., Yoo K. and Fox N., The infant EEG mu rhythm: methodological considerations and best practices, *Dev. Rev.*, **34**, 26 (2014).
43. Moore A., Gorodnitsky I. and Pineda J., EEG mu component responses to viewing emotional faces, *Behav. Brain Res.*, **226**, 309 (2012).
44. Moore M. R. and Franz E. A. Mu rhythm suppression is associated with the classification of emotion in faces, *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, **17**, 224 (2017).
45. Cooper N., Simpson A., Till A., Simmons K. and Puzzo I., Beta event-related desynchronization as an index of individual differences in processing human facial expression: further investigations of autistic traits in typically developing adults, *Front. Hum. Neurosci.*, **7**, (Epub.). (2013).
46. Karakale O., Moore M. R. and Kirk I. J. Mental Simulation of Facial Expressions: Mu Suppression to the Viewing of Dynamic Neutral Face Videos, *Frontiers in human neuroscience*, **13**, (Epub.). (2019).

47. Krivan S. J., Caltabiano N., Cottrell D. and Thomas N. A., I'll cry instead: mu suppression responses to tearful facial expressions, *Neuropsychologia*, **143**, (Epub.). (2020).
48. Symons A. E., El-Deredy W., Schwartz M. and Kotz S. A., The Functional Role of Neural Oscillations in Non-Verbal Emotional Communication, *Front. Hum. Neurosci.*, **10**, (Epub.). (2016).
49. Tseng Y., Yang H., Savostyanov A., Chien V. and Liou M., Voluntary attention in asperger's syndrome: brain electrical oscillation and phase-synchronization during facial emotion recognition, *Res. Autism Spectr. Disord.*, **13–14**, 32 (2015).
50. Knyazev G. G., Mitrofanova L. G. and Bocharov A. V., Emotional intelligence and oscillatory responses to emotional facial expressions, *Human Physiology*, **39**, 371 (2013).
51. Somerville L. H., Fani N. and McClure-Tone E. B., Behavioral and neural representation of emotional facial expressions across the lifespan, *Dev. Neuropsychol.*, **36**, 408 (2011).
52. Rayson H., Bonaiuto J. J., Ferrari P. F. and Murray L., Mu desynchronization during observation and execution of facial expressions in 30-month-old children, *Dev. Cogn. Neurosci.*, **19**, 279 (2016).
53. Fridenson-Hayo S., Berggren S., Lassalle A., Tal S., Pigat D., Bolte S. and Golan O., Basic and complex emotion recognition in children with autism: cross cultural findings, *Mol. Biol.*, **7** (Epub.). (2016).
54. Evers K., Kerkhof I., Steyaert J., Noens I. and Wagemans J., No differences in emotion recognition strategies in children with Autism Spectrum Disorder: evidence from hybrid faces, *Autism Res. Treat.*, **2014**, (Epub.). (2014).
55. Nuske H., Vivanti G. and Dissanayake C., Are emotion impairments unique to, universal, or specific in autism spectrum disorder? A comprehensive review, *Cognit. Emotion*, **27**, 1042 (2013).
56. Yeung M., Han Y., Sze S. and Chan A., Altered right frontal cortical connectivity during facial emotion recognition in children with autism spectrum disorders, *Res. Autism Spectr. Disord.*, **8**, 1567 (2014).
57. Leung R. C., Ye A. X., Wong S. M., Taylor M. J. and Doesburg S. M., Reduced beta connectivity during emotional face processing in adolescents with autism, *Mol. Autism*, **5**, (Epub.). (2014).
58. Leung R. C., Pang E. W., Brian J. A. and Taylor M. J., Happy and angry faces elicit atypical neural activation in children with autism spectrum disorder, *Biol. Psychiatry Cogn. Neurosci. Neuroimaging*, **4**, 1021 (2019).
59. Safar K., Wong S. M., Leung R. C., Dunkley B. T., Taylor M. J., Increased functional connectivity during emotional face processing in children with autism spectrum disorder, *Front. Hum. Neurosci.*, **12**, (Epub.). (2018).
60. Williams J. H., Whiten A., Suddendorf T. and Perrett D. I., Imitation, mirror neurons and autism, *Neurosci. Biobehav. Rev.*, **25**, 287 (2001).
61. Watanabe A. and Yamazaki T., Representation of the brain network by electroencephalograms during facial expressions, *J. Neurosci. Methods*, **357**, (Epub.). (2021).

УДК 612.82

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТАДЖИКОВ,
ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ
ТЕРРИТОРИЯХ**

Рауфов С. С.

*Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева,
Красноярск, Россия
E-mail: raufov.sarwar2016@yandex.ru*

Представлены результаты сравнительного анализа психофизиологических особенностей таджиков, проживающих в Сибири и Таджикистане. Определены темперамент, уровень активации и операторская работоспособность центральной нервной системы (ЦНС). Выявлено, что таджики, проживающие в Таджикистане, более эффективно справляются с негативным психоэмоциональным состоянием, характеризуются низкой отвлекаемостью, склонностью избегать нового и сниженной настойчивостью. Функциональное состояние и операторская работоспособность ЦНС у таджиков, проживающих в Таджикистане, выше по сравнению с мигрантами. Выдвинуто предположение, что выявленные различия функционального состояния у исследуемых групп обусловлены влиянием климатогеографических условий проживания.

Ключевые слова: темперамент, зрительно-моторная реакция, нервная система, функциональное состояние, климатогеографические условия, адаптация, таджики.

ВВЕДЕНИЕ

Каждому организму, независимо от пола и возраста, свойственно адаптироваться в климатогеографической среде проживания субъекта. Адаптация человека имеет два аспекта: биологический и психологический. Если биологическая адаптация происходит бессознательно, то при психологической адаптации активно участвует сам субъект. Этот аспект проявляется на протяжении всей жизни. Известна роль внешних факторов, влияющих на психофизиологическое состояние ЦНС и всего организма. Среди факторов, определяющих функциональное состояние ЦНС, выделяют: психофизиологическое состояние; факторы внешней среды, в том числе и социальный; факторы деятельности [1–4]. В процессе адаптации в организме происходит определенное количество физиологических затрат, включающих физическую и нервно-эмоциональную нагрузку, которые в свою очередь могут привести к истощению ЦНС [5–7] и сердечно-сосудистой системы [8–11].

Известно, что темпераментальные свойства личности влияют на функциональные возможности организма и резерв здоровья [12, 13], а также на уровни тревожности и внимания [14]. Оценка функционального состояния ЦНС

позволяет спрогнозировать возникновение негативных психофизиологических состояний [15–18].

Исследования адаптационно-приспособительных реакций организма мигрантов связано с необходимостью профилактики физиологических нарушений организма. Ранее нами исследованы гендерные особенности и структура темперамента у русских и таджиков, проживающих в Красноярске [19]. Однако, в научной литературе, не удалось найти сведений о психофизиологических особенностях таджиков проживающих в разных климатогеографических условиях.

В связи с выше сказанным, определилась необходимость исследования психофизиологических особенностей у таджиков, проживающих в разных климатогеографических территориях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование приняли участие 1050 человек: в Таджикистане 884 человека (г. Душанбе, 38,5° с. ш., 68,5° в. д.; г. Худжанд, 40,3° с. ш., 69,6° в. д.; температура летом: в среднем +27 °С, зимой: в среднем +3 °С) и 166 человек в Красноярске (56° с. ш. 92° в. д.; температура летом: в среднем +17 °С, зимой: в среднем -23 °С), проживающих более года, в возрасте от 18 до 40 лет.

Для выявления черт темперамента использован вариант методики DOTs-R А. Томаса, адаптированный для Таджикистана (Рауфов С. С., Шилов С. Н., Элназаров Б. Д., 2018). Методика DOTs включает определение степени выраженности следующих черт темперамента: 1 – общий уровень активности; 2, 3 – приближение/избегание; 4 – гибкость; 5 – настроение; 6, 7, 8 – ритмичность сна, в еде, в привычках; 9 – отвлекаемость; 10 – настойчивость; 11 – чувствительность; 12 – интенсивность.

Одним из информативных методов оценки функционального состояния ЦНС является анализ времени и точности сенсомоторных реакций [20, 21], характеризует быстроту возникновения и исчезновения возбуждения и торможения, максимальную частоту генерации нервных импульсов [22]. Для изучения функциональных возможностей центральной нервной системы использована методика простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) и сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР (А. М. Зимкина с соавторами, 1978; А. А. Талалаева, 1992)). В соответствии с этими работами, в основе оценки функционального состояния ЦНС лежит анализ уровня и стабильности сенсомоторных реакций человека в ответ на световые раздражители. В качестве стимулов в приборе используются световые импульсы (загорание зеленой лампочки – ПЗМР, зеленый и красный свет – СЗМР) на передней панели прибора. Стимулы предъявляются последовательно. Тест состоит из 75 или 35 (в зависимости от варианта сценария) световых стимулов. Первые пять являются тренировочными и в расчете параметров не участвуют. В процессе выполнения теста регистрируется время ответной реакции в миллисекундах и количество ошибочных действий: пропуск сигнала, преждевременное нажатие.

Показатели ПЗМР и СЗМР регистрировались с помощью устройства психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 – «Психофизиолог».

Статистическая обработка данных проводилась с помощью MS Excel 2016, количественные данные представлены в виде среднего значения (M) и его ошибки ($\pm m$). Различия показателей между группами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для независимых выборок с проверкой равенства дисперсий по критерию Levene. Различия считались статистически значимыми по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении черт темперамента было установлено, что лица проживающие в Таджикистане проявляют высокую активность в различных видах деятельности, характеризуются большим интересом ко всему новому, повышенной гибкостью реакций и способностью к изменению поведения под воздействием внешних причин, повышенным фоном настроения, высокой ориентацией на задачу и целеустремленностью, высокой отвлекаемостью и настойчивостью. В отличие от них, лицам, проживающим в г. Красноярске свойственны высокая чувствительность к внешним раздражителям, а также более трудное переключения от одного вида деятельности к другому, низкая активность и тенденция к избеганию опасностей, сниженный фон настроения (табл. 1).

Таблица 1

Показатели темперамента у таджиков, проживающих в разных климатогеографических условиях (M \pm m)

Параметры DOTS-R	Таджикистан	Красноярск	Значимость различий
	n=712	n=83	
Общая активность	2,81 \pm 0,03	2,57 \pm 0,02	p<0,05
Активность во сне	2,37 \pm 0,02	2,30 \pm 0,02	p<0,05
Приближение	2,81 \pm 0,01	2,54 \pm 0,04	–
Гибкость	2,33 \pm 0,02	2,12 \pm 0,03	–
Настроение	2,60 \pm 0,01	2,55 \pm 0,10	–
Ритм сна	2,29 \pm 0,02	2,24 \pm 0,02	–
Ритм еды	2,46 \pm 0,02	2,45 \pm 0,02	–
Ритм привычек	2,39 \pm 0,02	2,38 \pm 0,02	–
Отвлекаемость	2,74 \pm 0,02	2,46 \pm 0,05	p<0,05
Настойчивость	3,08 \pm 0,02	2,69 \pm 0,04	p<0,05
Порог	2,81 \pm 0,02	2,72 \pm 0,02	p<0,05
Интенсивность	2,71 \pm 0,01	2,72 \pm 0,04	–

Характеристики ПЗМР у обследуемых, проживающих в Красноярске, мало отличаются от показателей обследуемых, проживающих в Таджикистане. У мигрантов время реакции и уровень быстродействия снижены. В целом, среднее время реакции у обеих обследуемых групп находится на уровне выше средних и высоких значений.

Уровень стабильности ПЗМР, определяемый по СКО, у обеих групп был средним. При этом, среди таджиков, проживающих в Таджикистане, у 20 % лиц выявлен высокий уровень стабильности по сравнению с мигрантами, у которых 7 % лиц с высоким уровнем стабильности реакций.

Показатель безошибочности у обеих групп находится на уровне выше среднего. В структуре ошибок не обнаружено пропусков и упреждений у 32 % таджиков, проживающих в Таджикистане, и у 26 % среди мигрантов (табл. 2).

Таблица 2
Характеристика некоторых параметров зрительно-моторной реакции ($M \pm m$)

Парметры ПЗМР	Таджикистан	Красноярск	Значимость различий
	n=172	n=83	
Среднее время реакции, мс	245,74±4,50	246,93±4,13	p=0,827
СКО, мс	52,43±3,92	62,03±3,85	p=0,044
Уровень бысродействия	4,14±0,11	2,73±0,28	p=0,900
Уровень стабильности реакций	3,56±0,16	2,97±0,08	p=0,002
Пропуски, шт	0,08±0,05	0,14±0,04	p=0,498
Упреждения, шт	1,43±0,26	1,80±0,15	p=0,280
Ошибки, шт	1,51±0,30	1,94±0,05	p=0,287

Лиц с высоким и выше среднего уровнем активации ЦНС выявлено: среди мигрантов – у 18,6 %, среди обследованных в Таджикистане – 22,3 %, характеризующихся высоким уровнем регуляторных механизмов и высокими функциональными возможностями ЦНС.

У большинства обследуемых таджиков Красноярска выявлен средний уровень активации (49,5 %), в то время как в Таджикистане (42,0 %), что характеризуется замедленными реакциями при стабильности средних значений, низким уровнем регуляторных механизмов, значительной инертностью нервных процессов, оптимальными возможностями ЦНС. Лицам со сниженным уровнем активации характерно бысродействие ниже средних значений с высокой стабильностью реакций и преобладанием процессов торможения, сниженным уровнем функциональных возможностей.

Результат проведенного СЗМР показал, что после переезда в новые климатогеографические условия проживания, в уровнях сенсомоторной реакции, наблюдаются существенные изменения. Однако, среди мигрантов количество лиц с уровнем активации ниже среднего и выше среднего больше, а среди остальных показателей уровней сенсомоторной реакции картина обратная (рис. 2).

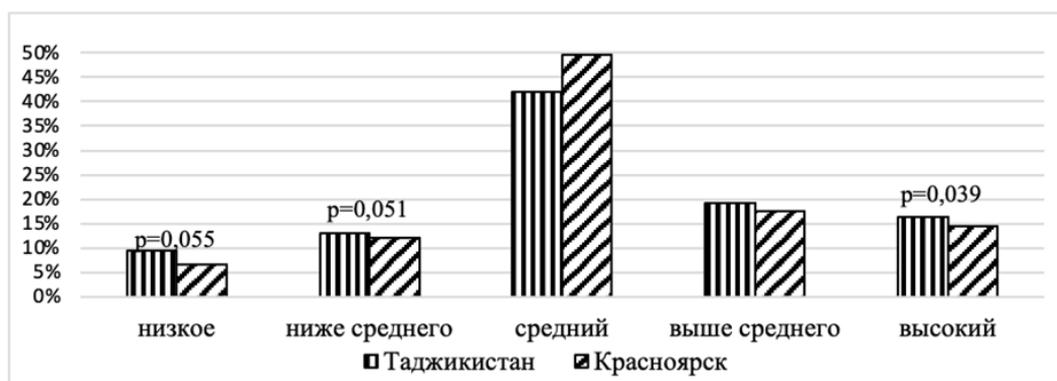


Рис. 1. Показатели уровней активации ЦНС

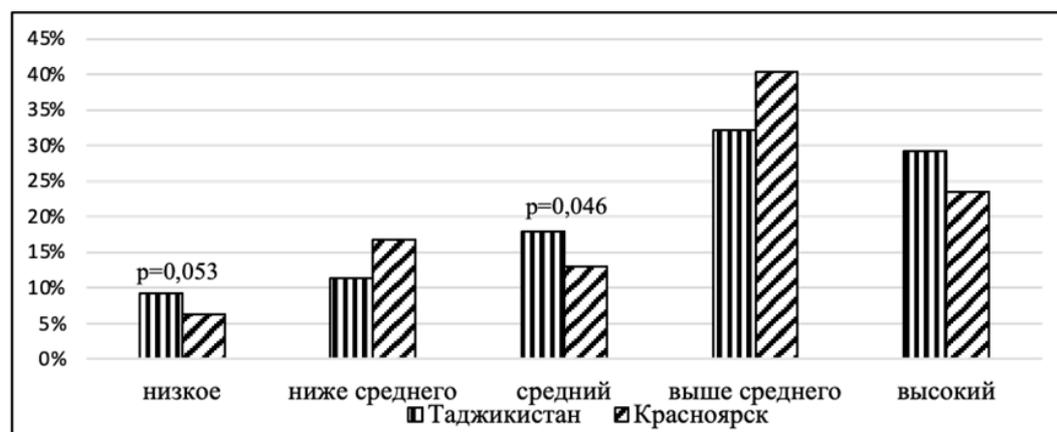


Рис. 2. Показатели уровней сенсомоторной реакции

Адаптационные возможности напрямую зависят от функциональных резервов организма [23, 24]. Высокие функциональные возможности организма позволяют сохранять необходимый уровень здоровья без увеличения степени напряжения адаптационных механизмов.

Результаты исследования темперамента и анализа ЗМР показали, что средние значения по времени реакции и СКО у мигрантов соответствовали среднему уровню. У мигрантов выявлены значимые изменения в показателях активности, отвлекаемости, настойчивости, СКО и уровня стабильности. Такая комбинация активности, быстродействия и стабильности реакций свидетельствует о неустойчивом состоянии регуляторных механизмов с признаками перевозбуждения, которые приводят к истощению функциональных возможностей ЦНС при проживании в новых климатогеографических условиях. Эти данные свидетельствуют о перенапряжении регуляторных систем у мигрантов.

В целом, полученные данные согласуются с данными из других научных источников [25–27], описывающих влияние климатогеографических условий проживания на функциональное состояние ЦНС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при проживании в новых климатогеографических условиях установлен характер ответной реакции организма на воздействия внешних факторов, проявляющийся в снижении общей активности, снижении уровня активации и работоспособности ЦНС. Низкий уровень функционального состояния ЦНС может указывать на несоответствие психофизиологических возможностей организма у мигрантов (32 %) к условиям адаптации.

Выявленные различия показателей темперамента и сенсомоторного реагирования у таджиков, проживающих в Таджикистане, характеризуются более активированной и подвижной ЦНС по сравнению с мигрантами. Функциональное состояние и операторская работоспособность ЦНС у таджиков, проживающих в Таджикистане, выше по сравнению с мигрантами. Выдвинуто предположение, что выявленные различия функционального состояния у исследуемых групп обусловлены влиянием климатогеографических условий проживания.

Список литературы

1. Гостева Л. З. Проблема адаптации студентов первого курса в высшем учебном заведении (на примере АмГУ) / Л. З. Гостева, Д. А. Еленская // Вестник АмГУ. – 2011. – Вып. 54. – С. 86–91.
2. Гуткин И. Н. Исследования функционального состояния студентов разных курсов в течении учебного дня / И. Н. Гуткин, И. В. Ярославцева, И. А. Конопак, Н. Е. Исакова // Изв. Иркут. Гос. ун-та. Сер. Психология. – 2013. – № 2. – С. 12–25.
3. Кондакова О. Э. Психофизиологические и адаптивные характеристики детей и подростков, проживающих на Крайнем Севере / О. Э. Кондакова, С. Н. Шилов, В. И. Кирко // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Биология. – 2017. – 10 (3). – С. 312–322.
4. Мальцев В. П. Психофизиологический статус студентов как фактор обеспечения учебно-профессиональной деятельности / В. П. Мальцев, Д. З. Шибкова, П. А. Байгужин // Вестн. Сургут. Гос. Пед. ун-та. – 2011. – № 2(13). – С. 163–170.
5. Агаджанян Н. А. Учение о здоровье и проблема адаптации / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева – Ставрополь: СГУ, 2000. – 204 с.
6. Тожибоева Д. А. Анализ результатов хронорефлексометрии по скорости зрительно-моторной реакции работающих. / Д. А. Тожибоева, М. А. У. Мансуров, У. Н. К. Мухамедова // Молодой ученый. – 2017. – №1–2(135). – С. 84–90.
7. Muller H., R. Psych. Private practice in clinical health psychology. / [http:// www.armueller-healthpsychology.com/heart_rate_variability.html](http://www.armueller-healthpsychology.com/heart_rate_variability.html) (дата обращения: 05.01.2020г.).
8. Ходжиев М. Адаптация организма трудового мигранта к факторам риска трудового процесса с позиции функциональной системы П. К. Анохина / М. Ходжиев, Л. В. Прокопенко, Н. П. Головкова, Г. И. Тихонова, М. А. Фесенко // Анализ риска здоровью. – 2016. – №4. – С. 107–118. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.12
9. Belkic K. Is job strain a major source of cardiovascular risk / Belkic K., Landsbergis P. A. // Scand. J. Work Environ. Health. – 2004. – Vol. 30, № 2. – P. 85–128.
10. Theorrell T. Changes in job strain in relation to changes in physiological state / T. Theorrell., A. Perski., T. Akershtedt [et al.] // Scand. J. Work Environ. Health. – 2013. – Vol. 14. – P. 189–196.
11. Kivimäki M. Work stress and risk of coronary mortality: prospective cohort study of industrial employees / Kivimäki M., Leonon-Arjas P. // British. Medical. Journal. – 2002. – №3. – P. 857–863.

12. Лисова Н. А. Роль активационных процессов коры головного мозга в формировании стрессоустойчивости у студенток с различными темпераментальными характеристиками / Н. А. Лисова, С. Н. Шилов // Сибирский вестник специального образования. – 2015. – № 2 (15). – С. 52–57.
13. Солдатова О. Г. Взаимосвязь особенностей темперамента с неспецифической резистентностью организма и уровнем здоровья / О. Г. Солдатова, С. Н. Шилов, В. Ю. Потылицина // Неврологический вестник. – 2008. – Т. XI, № 1. – С. 10–13.
14. Pintzinger N. M. Temperament differentially influences early information processing in men and women: Preliminary electrophysiological evidence of attentional biases in healthy individuals / Pintzinger N. M., Pfabigan D. M., Pfau L., Krispin-Exner I., Lamm C. // Biological Psychology. – 2017. – Vol. 122. – P. 69–79. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.007>
15. Губарева Л. И. Особенности функционирования центральной нервной системы у работников газотранспортной системы с разной степенью адаптации к условиям профессиональной среды. / Л. И. Губарева, Т. Ю. Понамарева, Л. С. Ермолова // Мед. вестник Северного Кавказа. – 2016. – №9 (7). – С. 573–576.
16. Игнатова Ю. П. Зрительно-моторные реакции как индикатор функционального состояния центральной нервной системы / Ю. П. Игнатова, И. И. Макарова, К. Н. Яковлева, А. В. Аксенова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – №3. – С. 38–49. <http://doi.org/10.34014/2227-1848-2019-3-38-51>
17. Капцов В. А. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света / В. А. Капцов, Н. Н. Сосунов, И. И. Шищенко, В. С. Викторов, В. Н. Тулушов, В. Н. Дайнего, Е. А. Бухарева, М. А. Мурашова, А. А. Шищенко // Гигиена и санитария. – 2014. – №93 (4). – С. 120–123.
18. Chess S. Temperament: Theory and practice. / Chess S. – New York.: Routledge, 2013. – 270 p.
19. Рауфов С. С. Особенности черт и структуры темперамента молодых людей разных культур. / С. С. Рауфов, С. Н. Шилов // Siberian Journal of life and Agriculture [S.I] – 2019. – V.11, No. 2. – P. 12–23. ISSN 2658-6657 <http://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-2-12-23>
20. Дорджиева Д. Б. Возрастные различия времени зрительно-моторной реакции у школьников / Д. Б. Дорджиева, И. А. Бадмаева, С. В. Карлова, Ц. В. Лиджигоряева // Наука вчера, сегодня, завтра. – 2017. – 7(41). – С. 6–10.
21. Горст Н. А. Современные подходы к диагностике микропрофиля высшей нервной деятельности / Н. А. Горст, С. Н. Лычагина, В. Р. Горст, Л. М. Мяснянкина, М. Ф. Сысуева, Л. В. Горячкина, М. В. Полукова // Естественные науки. – 2013. – №2 (43). – С. 126–131.
22. Байгужин П. А. Факторы результативности психофизиологического исследования функционального состояния центральной нервной системы у студентов / П. А. Байгужин // Вестник ЮУрГУ. – 2011. – № 26. – С. 131–135.
23. Агаджанян Н. А. Этюды об адаптации и путях сохранения здоровья / Н. А. Агаджанян, А. И. Труханов, Б. А. Шендеров – М., 2002. – 156 с.
24. Манчук В. Т. Состояние и формирование здоровья коренных малочисленных народов Севера и Сибири / В. Т. Манчук, Л. А. Надточий – Красноярск, 2012. – С. 6–7.
25. Кужугет А. А. Морфофункциональные показатели подростков коренных малочисленных народов Севера из разных природно-климатических зон / Кужугет А. А., Трусей И. В., Колпакова Т. В., Кирко В. И // Журн. мед.-биол. исследований. – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 389–398. DOI: [10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.389](https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.389)
26. Осин М. В. Оценка функционального состояния ЦНС у подростков, проживающих в условиях Севера / М. В. Осин, В. П. Мальцев, А. А. Говорухина // Психология. Психофизиология. – 2020 – Т. 13, № 4 – С. 100–107. DOI: [10.14529/jpps200411](https://doi.org/10.14529/jpps200411)
27. Мальцев В. П. Психофизиологический потенциал адаптации студенток русского и казахского этносов к обучению педагогическом вузе / В. П. Мальцев, Ж. Т. Суюндикова // Психология. Психофизиология. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 72–82. DOI: [10.14529/jpps190307](https://doi.org/10.14529/jpps190307)

**PSYCHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TAJIKS LIVING IN
DIFFERENT CLIMATICGEOGRAPHICAL TERRITORIES**

Raufov S. S.

*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: raufov.sarwar2016@yandex.ru*

In connection with the development of migration, adaptation is a complex multifunctional and diverse change in the body of migrants. The impact of non-specific factors on the body of migrants when living in new conditions causes a significant disruption of the vital activity of all the body, and in extreme cases leads to their disruption. The results of a study of the psychophysiological characteristics of Tajiks when living to the climatic and geographical conditions of Siberia in comparison with Tajiks living in Tajikistan are presented. The aim of the study was to study the psychophysiological characteristics of Tajiks living in different climatogeographic conditions. The study involved 1,050 people in Tajikistan (884 people) and in the city of Krasnoyarsk (166 people) living for more than a year at the age of 18 to 40 years. To identify temperament traits, we used a variant of the questionnaire of the DOTS-R methodology by A. Thomas adapted for Tajikistan. The level of activation and operator efficiency of the central nervous system (CNS) were investigated using the methods of simple and complex visual-motor reaction. The differences were considered statistically significant according to the Student's criterion at $p < 0.05$. It was revealed that Tajiks living in Tajikistan cope more effectively with a psychoemotional state, are characterized by low distraction, a tendency to avoid the new and reduced persistence. They assess their mood rather good than bad compared to migrants. It is shown that the level of activation and operational efficiency of the central nervous system in the subjects in Tajikistan is higher with the stability of reactions. Persons with a low level of CNS activation among Tajiks living in Krasnoyarsk were identified in 32 % of the surveyed. Persons with a reduced level of activation were characterized by a lower-than-average response rate with high stability of reactions with a predominance of inhibition processes, a reduced level of functionality, this may indicate a discrepancy in the psychophysiological adaptation capabilities of the migrants. The functional state and operational efficiency of the central nervous system of Tajiks living in Tajikistan is higher compared to migrants. The revealed differences in temperament and sensorimotor response indicators among Tajiks living in Tajikistan are characterized by a more activated and mobile central nervous system compared to migrants. The functional state and operational efficiency of the central nervous system of Tajiks living in Tajikistan is higher compared to migrants. Thus, when living in new climatogeographic conditions, the nature of the body's response to the effects of external factors is established, manifested in a decrease in overall activity, a decrease in the level of activation and efficiency of the central nervous system. Adaptive capabilities directly depend on the functional reserves of the body. High functional capabilities of the body allow you to maintain the necessary level of health without increasing the degree of stress of adaptive mechanisms. It is suggested that the revealed

differences in the functional state of the studied groups are due to the influence of climatic and geographical living conditions.

Keywords: temperament, visual-motor reactions, nervous system, functional state, climatogeographic conditions, adaptation, Tajiks.

References

1. Gosteva L. Z., Elenskaya D. A. [The problem of adaptation of first-year students in higher education (for example ASU)], *Heard of ASU*, **54**, 86 (2011) (in Russ.)
2. Gutnik I. N., Yaroslavtseva I. V., Konopak I. A., Isakova N. E. Performance of Students of Various Years of Study During an Academic day. *Irkutsk State University. Pshihology*, **17**, 12 (2016) (in Russ.)
3. Kondakova O. E., Shilov S. N., Kirko V. I. [Psychophysiological and accommodational characteristics of children and adolescents living in the Far North]. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta.: Biologiya*, **10 (3)**, 312 (2017) (in Russ.)
4. Mal'tsev V. P., Shibkova D. Z., Bayguzhin P. A. Psikhofiziologicheskiy status studentov kak factor obespecheniya uchebno-professional'noy deyatelnosti. *Vestn. Surgut. Gos. Ped. Un-ta.*, **2. (13)**, 163 (2011) (in Russ.)
5. Agadzhanyan N. A., Baevskiy P. M., Berseneva A. P. [*Health and adaptation problems doctrine*]. 204 p. (Stavropol'skiy gosudarstvennyy universitet Publ, 2000) (in Russ)
6. Tojiboeva D. A., Mansurov M. A. U., Mukhamedova U. N. K. Analysis of the results of chronoreflexometry on the speed of visual-motor reaction of workers. *Young Scientist*, **1-2(135)**, 84 (2017).
7. Muller H., R. Psych. *Private practice in clinical health psychology*. Available at: http://www.armuellerhealthpsychology.com/heart_rate_variability.html. (accessed: 05.01.2020r.)
8. Khodzhiev M., Prokopenko L. V., Golovkova N. P., Tikhonova G. I., Fesenko M. A. Adaptation of the migrant workers body to the occupational risk factors from the position of functional system of P. K. Anokhin. *Health Risk Analysis*, **4**, 107 (2016). DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.12.end
9. Belkic K., Landsberqis P. A. Is job strain a major source of cardiovascular risk, *Scand. J. Work Environ. Health*, **30, 2**, 85 (2004).
10. Theorrell T., Perski A., Akershtedt T. [et al.] Changes in job strain in relation to changes in physiological state, *Scand. J. Work Environ. Health*, **14**, 189 (2013).
11. Kivimak M., Leonon-Arjas P. Work stress and risk of coronary mortality: prospective cohort study of industrial employees, *British. Medical. Journal.*, **3**, 857 (2002).
12. Lisova N. A., Shilov S. N. [The role of activation processes cerebral cortex in formation of stress resistance in students with different temperamental characteristics]. *Siberian Bulletin of Special Education*, **2**, 52 (2015) (In Russ.). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23651432>
13. Soldatova O. G., Shilov S. N., Potylitsina V. Yu. Intercorrelation between temperament peculiarities with non-specific body resistance and state of health. *Nevrological Bulletin*, **XI, 1**, 10 (2008) (In Russ.). URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=11673046>
14. Pintzinger N. M., Pfabigan D. M., Pfau L., Krispin-Exner I., Lamm C. Temperament differentially influences early information processing in men and women: Preliminary electrophysiological evidence of attentional biases in healthy individuals, *Biological Psychology*, **122**, 69 (2017) DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.07.007>
15. Gubareva L. I., Ponomareva T. Yu., Ermolova L. S. [CNS functioning in workers of the gas transportation system with varying degrees of adaptation to the professional environment]. *Meditsinskiy vestnic Severnogo Kavkaza*, **11 (4)**, 573 (2016) (in Russ.)
16. Ignatova Yu. P., Makarova I. I., Yakovleva K. N., Aksenova A. V. Visual-motors reactions as an indicator of CNS functional state. *Ulyanovskiy medico-biologicheskii zhurnal*, **3**, 38 (2019).
17. Kaptsov V. A., Sosunov N. N., Shishchenco I. I., Viktorov V. S., Tulushev V. N., Deynego V. N., Bukhareva E. A., Murashova M. A., Shishchenco A. A. Functional state of the visual analyzer under traditional and LED illumination. *Gigiena I sanitariya*, **93 (4)**, 120 (2014) (in Russ.)
18. Chess S. *Temperament: Theory and practice*, 270 p. (New York.: Routledge, 2013).

19. Raufov S. S., Shilov S. N. [Temperament traits and structure in young Russian and Tajiks]. *Siberian Journal of life and Agriculture [S.I.]*, **11**, **2**, 12 (2019) ISSN 2658-6657 <http://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-2-12-23>
20. Dordzhieva D. B., Badmaeva I. A., Karlova S. V., Lidzhigoryaeva Ts. V. Age-related differences in time of visual-motor reactions in schoolchildren. *Nauka vchera, segodnya, zavtra*, **7** (**41**), 6 (2017) (in Russ.).
21. Gorst N. A., Lychagina S. N., Gorst V. R., Myasnyakina L. M., Sysueva M. F., Goryachkina L. V., Polukova M. V. Current approaches to diagnosis microprofile higher nervous activity. *Yestestvennye Nauki (Natural Sciences)*, **2**, **43**, 126 (2013).
22. Bayguzhin P. A. [Factory rezultativnosti psichofiziologicheskogo issledovaniya funktsionalnogo sostoyaniya tsentralnoy nervnoy sistemy u studentov] *Vestnik YuUrGU*, **26**, 131 (2011).
23. Aghajanyan N. A., Trukhanov A. I., Shenderov B. A. *Etudes on adaptation and ways of preserving health*, 156 p. (M., 2002). (in Russ.).
24. Manchuk V. T., Nadtochiy L. A. *The state and formation of health of the indigenous small-numbered peoples of the North and Siberia*, 6 (Krasnoyarsk, 2012) (in Russ.).
25. Kuzhuget A. A., Trusey I. V., Kolpakova T. V., Kirko V. I. Morphofunctional Parameters of Adolescents of Indigenous Small-Numbered Peoples of the North from Various Natural Climatic Zones, *Journal of Medical and Biological Research*, **7**, **4**, 389 (2019) DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.4.389 (in Russ.).
26. Osin M. V., Maltsev V. P., Govorukhina A. A. Assessment of the Functional State of the Central Nervous System in Adolescents Living in the North. *Psychology. Psychophysiology*, **13**, **4**, 100 (2020) DOI: 10.14529/jpps200411 (in Russ.).
27. Maltsev V. P. Psychophysiological University in Russian and Kazakh Students. *Psychology. Psychophysiology*, **12**, **3**, 72 (2019) (in Russ.). DOI: 10.14529/jpps190307

УДК 796.01:612

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЖИ У СТУДЕНТОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Романов Ю. Н., Гомжина Ю. А., Байгузин П. А.

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия
E-mail: romanovyn@susu.ru*

Применение немедикаментозных средств, в частности криофактора, является эффективным средством в практике спортивной тренировки. *Организация и методы.* До и после стандартной физической нагрузки – разминки, проведено бесконтактное инфракрасное термографирование 20 студенток – кандидатов в мастера спорта в различных видах фитнеса и 20 студенток – занимающихся фитнесом два раза в неделю по программе кафедры «Физическая культура и здоровье». Термография проходила стационарно в течение 170 секунд. *Результаты* позволяют предположить наличие у девушек сравниваемых групп локализацию симпатозависимых структур, ассоциируемых с бурой жировой тканью, воздействуя на которые холодом можно повысить уровень работоспособности. Интенсивность термогенеза, определяется различной степенью вегетативной реактивности организма обследованных студенток и зависит от уровня спортивной квалификации.

Ключевые слова: термогенез, симпатозависимая ткань, термометрия, физиологическая реакция, фитнес, студентки.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная терморегуляция имеет первостепенное значение для оптимизации спортивных результатов и сведения к минимуму риска гипертермии организма вследствие выраженных тепловых эффектов физических тренировок.

Применение немедикаментозных средств, в частности охлаждающего фактора, является эффективным средством в практике спортивной тренировки, восстановления и реабилитации. Применяемый метод общего охлаждения тела низкими температурами зарекомендовал себя как эффективный в стабилизации и росте высоких спортивных результатов [1, 2]. Охлаждение дифференцируют на внешнее («ледяная» вода, холодные компрессы, охлаждающая одежда), внутреннее (прием холодной воды или льда) и смешанное воздействие.

Имеются результаты исследований, в которых авторы рекомендуют к охлаждению относиться осторожно и избирательно. Так, показано, что среди эффектов гипотермии отмечается повышенная жесткость мышцы, что ведёт к потере пластичности, ее повреждениям, а в итоге в снижении ловкости, координации движений, снижению результатов в спринте [3]. В работе М. Altun (2017) показано, что после местного воздействия холода на икроножную мышцу, подколенное сухожилие, четырехглавую мышцу и коленный сустав легкоатлетов (n = 161) результативность спринта на 30 метров значительно снизилась [4].

Исследователи полагают, что вызванные гипотермией изменения биомеханических свойств кожи связаны с усилением кровотока, а также с обратимым увеличением содержания межклеточной и внутриклеточной жидкости, термическим сокращением и расширением коллагена – все из которых являются предвестниками необратимого повреждения [5].

В спортивной практике предпочтительны средства охлаждения участков тела, обеспечивающие возможность удерживать в тренировочном процессе необходимый объем и интенсивность нагрузки, предотвращению перегрева организма спортсмена, оптимальное протекание восстановительных процессов [6]. Однако при использовании локальных холодных аппликаций не учитывается расположение симпатозависимых тканей под кожей человека. При этом, установлено, что любые варианты внешней гипотермии эффективно стимулируют вегетативную нервную систему – инициируют активацию парасимпатического тонуса [7]. Метод термографии позволяет, в том числе, оценить интенсивность энергетических процессов во внутренних органах организма [8, 9], в частности, термогенную активность коричневой жировой ткани [10].

Цель исследования – выявить особенности динамики температуры кожи над трапециевидной мышцей у студенток.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В обследовании принимали участие студентки 17-19 лет Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ). Первая группа ($n_1 = 20$) – кандидаты в мастера спорта в различных видах фитнеса (фитнес-аэробика, степ-аэробика, черлидинг, хип-хоп и др.), вторая группа ($n_2 = 20$) – студентки без спортивной квалификации, занимающиеся фитнесом два раза в неделю по программе кафедры «Физическая культура и здоровье» ЮУрГУ.

Принимая во внимание определяющий термогенез фактор – содержание в организме жировой ткани [11], при дифференциации групп обследования учитывалось значение процентного содержания жировой ткани (ПСЖТ), определяемое с помощью анализатора Tanita BC-418 MA. Так, средняя величина ПСЖТ в первой группе составила $21,83 \pm 1,91 \%$; во второй – $22,07 \pm 0,75 \%$ (при $p > 0,05$).

Обследование включало бесконтактное инфракрасное термографирование студенток обеих групп до разминки (первая экспозиция) и экспозиции через каждые 10 секунд в паузах отдыха после 15-ти минутной разминки, вызывающей умеренное потообразование. Содержание разминки: пульсовой режим – 100–140 уд/мин; 5-минутный бег на месте и комплекс общеразвивающих упражнений, выполняемых со средней и малой амплитудой движений, растяжка. Термография проходила в течение 170 секунд стационарно – в температурно нейтральной среде ($19,30 \pm 0,95$ °C); обследуемый находился стоя в нижнем белье. Использовали тепловизор BALTECH TR-01500, позволяющий получать динамические ряды кадров инфракрасной съемки всей поверхности тела (рис. 1). Время на адаптацию кожного покрова к температуре окружающей среды у обследуемых перед первой экспозицией тепловизором составляло 10 минут [12].

С целью минимизации влияния циркадных колебаний, термографию проводили в период с 08:00 до 10:00 часов. Предварительный инструктаж обследованных включал указания исключить до лабораторного исследования употребление психоактивных веществ (алкоголь, кофеин и др.).

Дизайн обследования. Регистрацию данных нулевой экспозиции тепловизором у обследуемых выполняли после разминки, лицом к экспериментатору. Последующие экспозиции проводились последовательно после поворота испытуемых на 180° относительно вертикальной оси тела через каждые 10 секунд (съемка осуществлялась в этом случае со стороны спины).

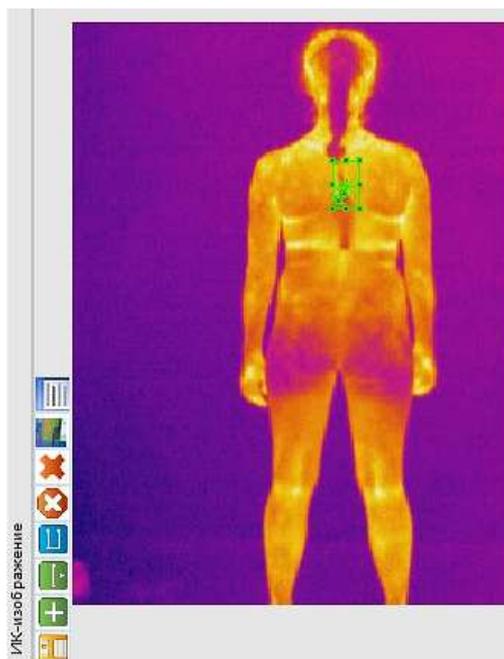


Рис. 1. Термография обследуемой в интерфейсе программного обеспечения тепловизора BALTECH TR-01500

Исключение факторов из исследования. Очевидно, что при выполнении физических упражнений, входящих в разминку, одежда влияла на теплообмен, увеличивая изоляцию и уменьшая тепловую потерю конвекции, излучения и испарения [13]. Терморегуляторные аспекты, связанные со спортивной одеждой, нами не рассматривались в связи с большим разнообразием видов ткани спортивной одежды, использованной студентками в наших исследованиях. Кроме того, нами не учитывался текущий гормональный фон обследуемых, что, в определенной мере отражается на вариабельности температуры кожных покровов [14].

Математико-статистическая обработка данных проводилась при помощи программного обеспечения SPSS v. 17 с использованием общепринятых методов вариационной статистики. Соответствие распределения значений температуры

закону нормального распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка; уровень значимости различий между средними значениями температуры кожи сравниваемых групп обследованных – U-критерия Манна-Уитни. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 представлено изменение температурного баланса кожного покрова над трапециевидной мышцей у студенток двух групп обследования.

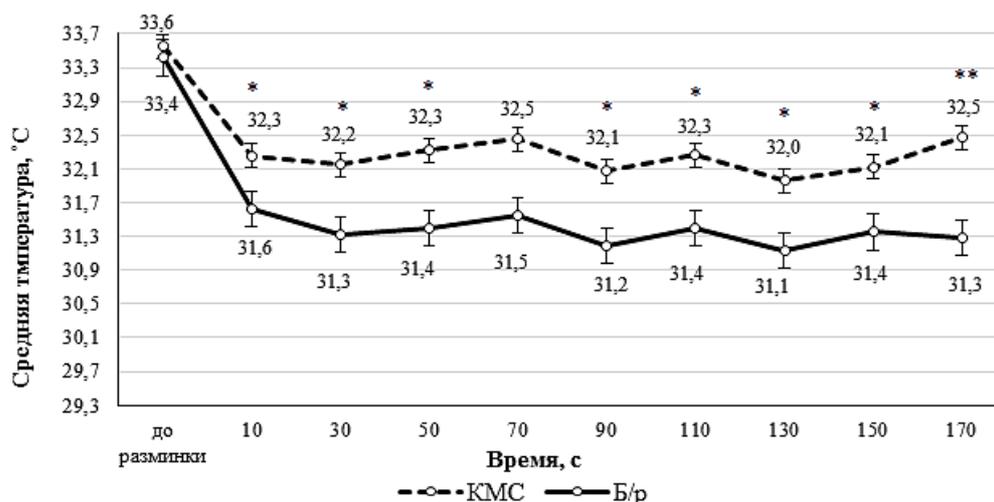


Рис. 2. Изменение средней температуры кожи, расположенной над трапециевидной мышцей (слева) после окончания разминки в двух группах сравнения в период отдыха в состоянии мышечного покоя.

Примечание: * – значимость различий при $p < 0,05$; ** – то же, при $p < 0,01$.

Обращает на себя внимание факт идентичности изменения во времени средних температур в группах сравнения, начиная с момента начала термографирования. Температурная кривая при пассивном охлаждении тела студенток-спортсменок находилась статистически значимо на более высоком уровне, при этом процессы термогенеза включались и отражаются синхронно с температурной кривой группы студенток, не занимающихся спортом.

Основным механизмом наращивания теплопродукции в организме при слабом холодом воздействии является несократительный термогенез. При этом увеличение теплопродукции в данных условиях у спортсменок выражено меньше по сравнению с девушками, занимающимися физической культурой.

Объяснением полученных данных, отражающих различия в интенсивности компенсаторной реакции, является известный эффект, возникающий при воздействии холодом и выражающийся в увеличении расхода энергии за счет

активации несократительного термогенеза и метаболизма симпатически активируемой коричневой жировой ткани. По данным литературы известно, что несократительный термогенез обладает ограниченными возможностями поддержания нормального теплового баланса организма в диапазоне понижения температуры среды ниже комфортной [15]. Полученные данные характеризуют специфичность несократительного термогенеза у квалифицированных спортсменок в условиях пассивного охлаждения и свидетельствуют об относительно высокой готовности их автономной нервной системы к обеспечению возрастающих энергообменных потребностей организма. Выявленная динамика средних температур у нетренирующихся лиц отражает относительно низкий уровень функциональной готовности организма к стресс-факторам внешней среды, что обусловлено относительной инертностью реагирования со стороны вегетативной нервной системы [16].

Полученные нами результаты, в целом, согласуются с концепцией термогенерации, в основе которой находится активация морфологических симпатозависимых структур – термогенераторов, ассоциируемых с бурой жировой тканью и способных к несократительному термогенезу в ответ на стимулы стрессогенного характера [17]. В данном контексте, под термогенератором авторы понимают «расположенное подкожно или в более глубоких слоях тканей скопление однородных клеток, обладающих повышенной теплопродукцией, поток инфракрасного излучения которых достигает поверхности тела и формирует термопортрет».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивность термогенеза, выраженная в температурной кривой, определяется различной степенью вегетативной реактивности организма обследованных студенток и зависит от их уровня физической подготовленности.

Перспектива дальнейших исследований в этой области будут сосредоточены на поиске (установлении) оптимальной модальности температурного воздействия, продолжительности и частоте охлаждения, направленного на повышение работоспособности и адаптации мышц. Не менее важным для практики спортивной тренировки является ответ на вопрос: «Насколько морфофункциональные изменения в мышцах в ответ на охлаждение определяют результативность выполнения целевого упражнения?».

Список литературы

1. Портнов В. В. Общие экстремальные холодовые воздействия и результативность спортсменов / В. В. Портнов, Р. Х. Медалиева // Доктор РУ. – 2009. – №7. – С. 46–52.
2. Hylldahl R. D. Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations / R. D. Hylldahl, J. M. Peake // Journal of applied physiology. – 2020. – Vol. 129 (2). – S. 353–365. DOI: 10.1152/jappphysiol.00322.2020.
3. Point M. Cryotherapy induces an increase in muscle stiffness / M. Point, G. Guilhem, F. Hug, A. Nordez, A. Frey, L. Lacourpaille // Scandinavian Journal Medicine & Science in Sports. – 2018. – Vol. 20, № 1. – P. 260–266.

4. Altun M. Effects of local cold applications to leg muscles and knee joint on 30-m sprint performance / M. Altun // *Gazzetta medica Italiana archivio per le scienze mediche*. – 2017. – Vol. 176 (4). – P. 154–161. DOI: 10.23736/S0393-3660.16.03389-1
5. Held M. Changes in the biomechanical properties of human skin in hyperthermic and hypothermic ranges / M. Held, S. Tweer, F. Medved et al. // *Wounds*. – 2018. – Vol. 30 (9). – P. 257–262.
6. Полиевский С. А. Обоснование и перспективы использования местных термопроцедур в спорте / С. А. Полиевский, Б. А. Подливаев, В. А. Заборова, С. В. Волохова // *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. – 2017. – № 6 (148). – С. 179–185.
7. Hausswirth C. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation / C. Hausswirth, K. Schaal, Y. Le Meur et al. // *PLOS ONE*. – 2013. – Vol. 8 (8). – Art. № e72658. DOI: 10.1371/journal.pone.0072658.
8. Акимов Е. Б. Кожная температура и лактатный порог во время мышечной работы у спортсменов / Е. Б. Акимов, В. Д. Сонькин // *Физиология человека*. – 2011. – Т. 37, № 5. – С. 120–128.
9. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине / Г. Р. Иваницкий // *Успехи физиологических наук*. – 2006. – Т. 176, № 12. – С. 1293–1320.
10. Martinez-Tellez B. Concurrent validity of supraclavicular skin temperature measured with iButtons and infrared thermography as a surrogate marker of brown adipose tissue / B. Martinez-Tellez, A. Perez-Bey, G. Sanchez-Delgado et al. // *J Therm Biol*. – 2019. – Vol. 82. – P. 186–196. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.04.009
11. Bouzigon R. Thermal sensations during a partial-body cryostimulation exposure in elite basketball players / R. Bouzigon, G. Ravier, B. Dugue et al. // *Journal of human kinetics*. – 2018. – Vol. 62 (1). – P. 55–63. DOI: 10.1515/hukin-2017-0158.
12. Valenza A. Thermosensory mapping of skin wetness sensitivity across the body of young males and females at rest and following maximal incremental running / A. Valenza, A. Bianco, D. Filingeri // *Journal of physiology-London*. – 2019. – Vol. 597 (13). – P. 3315–3332. DOI: 10.1113/JP277928.
13. Hinde K. The effect of temperature, gradient, and load carriage on oxygen consumption, posture, and gait characteristics / K. Hinde, R. Lloyd, C. Low et al. // *Eur J Appl Physiol*. – 2017. – Vol. 117 (3). – P. 417–430. DOI: 10.1007/s00421-016-3531-7
14. Singhal V. Effect of chronic athletic activity on brown fat in young women / V. Singhal, G. D. Maffazioli, K. E. Ackerman et al. // *PLOS ONE*. – 2016. – Vol. 11 (5). – Art. № e0156353. DOI: 10.1371/journal.pone.0156353
15. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодových воздействиях(обзор). Сообщение II / М. И. Бочаров // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки*. – 2015. – № 2. – С. 5–16.
16. Ерохин А. Н. Влияние локальной гипотермии на величину электрического потенциала биологически активных точек у ортопедо-травматологических больных, спортсменов и здоровых не тренирующихся юношей / А. Н. Ерохин, А. В. Попков // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 3. – С. 257.
17. Козлов А. В. Инфракрасная тепловизионная диагностика подкожных термогенераторов несократительного теплообразования / А. В. Козлов, В. Д. Сонькин // *Физиология человека*. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 86–102. DOI 10.1134/S0131164619060079.

CHANGES IN SKIN TEMPERATURE IN FEMALE STUDENTS WHEN EXPOSED TO PASSIVE COOLING

Romanov Yu. N., Gomzhina Yu. A., Baiguzhin P. A.

*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: romanovyn@susu.ru*

A preliminary analysis of the results obtained showed that the use of non-pharmacological means, in particular cold exposure, was effective for rehabilitation and recovery in sports training. This study aims to describe the features of temperature dynamics in the area above the trapezius muscle in female students.

20 female students with a rank of the candidate for Master of sport (fitness aerobics, step aerobics, cheerleading, hip-hop) and 20 female non-athletes attending PE classes at university (Department of Physical Education and Health) twice a week participated in the study. Non-contact infrared thermography was performed before and after standard physical activity (warm-up activities). 170-second temperature measurements were performed stationary in a temperature neutral environment (19.30 ± 0.95); all participants were naked to underwear. The BALTECH TR-01500 infrared camera was used, which allowed obtaining a series of infrared images of the entire body surface. Before the first temperature measurements participants had a 10-minute adaptation period. Baseline temperature data were recorded after warm-up activities in participants facing the researcher. Subsequent temperature measurements were performed with a 180° rotation relative to the vertical axis of the body every 10 seconds (imaging was performed from the back side). The Shapiro-Wilk test was used to identify the correspondence of temperature values to normal distribution; the Mann-Whitney U test was used to identify the significance of difference between mean temperature values of the groups. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

The results obtained allowed to identify the same changes in mean temperature values in the comparison groups from the beginning of thermography. In female athletes, the temperature curve during passive cooling was at a significantly higher level, while thermogenesis was activated and identified synchronously with the temperature curve of female non-athletes. The main mechanism for increasing heat production under mild cold exposure was nonshivering thermogenesis. At the same time, the increase in heat production under these conditions was less pronounced among athletes compared to female non-athletes. The difference in the intensity of the compensatory reaction can be associated with an increase in energy consumption associated with nonshivering thermogenesis and adipose tissue metabolism.

Further research can be focused on optimal regimens of cold exposure, their duration and frequency to enhance muscle adaptation and athletic performance.

Keywords: thermogenesis, sympatho-dependent tissue, thermometry, physiological reaction, fitness, female students.

References

1. Portnov V. V., Medalieva R. Kh. Obshchie ekstremal'nye kholodovye vozdeistviya i rezul'tativnost' sportsmenov, *Doktor RU*, **7**, 46 (2009).
2. Hyldahl R. D., Peake J. M., Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations, *Journal of applied physiology*, **129** (2), 353 (2020). DOI: 10.1152/jappphysiol.00322.2020
3. Point M., Guilhem G., Hug F., Nordez A., Frey A., Lacourpaille L. Cryotherapy induces an increase in muscle stiffness. *Scandinavian Journal Medicine & Science in Sports*, **20** (1), 260 (2018).
4. Altun M. Effects of local cold applications to leg muscles and knee joint on 30-m sprint performance, *Gazzetta medica Italiana archivio per le scienze mediche*, **176** (4), 154 (2017). DOI: 10.23736/S0393-3660.16.03389-1
5. Held M., Tweer S., Medved F. et al. Changes in the biomechanical properties of human skin in hyperthermic and hypothermic ranges, *Wound*, **30** (9), 257 (2018).
6. Polievskii S. A., Podlivaev B. A., Zaborova V. A., Volokhova S. V. Obosnovanie i perspektivy ispol'zovaniya mestnykh termoprotsecur v sporte, *Uchenye zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta*, **6** (148), 179 (2017).
7. Hausswirth C., Schaal K., Meur Y. Le et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation, *PLOS ONE*, **8** (8), e72658 (2013). DOI: 10.1371/journal.pone.0072658
8. Akimov E. B. Son'kin V. D. Kozhnaya temperatura i laktatnyi porog vo vremya myshechnoi raboty u sportsmenov, *Fiziologiya cheloveka*, **37** (5), 120 (2011).
9. Ivanitskii G. R. Sovremennoe matrichnoe teplovidenie v biomeditsine, *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, **176** (12), 1293 (2006).
10. Martinez-Tellez B., Perez-Bey A., Sanchez-Delgado G. et al. Concurrent validity of supraclavicular skin temperature measured with iButtons and infrared thermography as a surrogate marker of brown adipose tissue, *J Therm Biol.*, **82**, 186 (2019) DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.04.009
11. Bouzigon R., Ravier G., Dugue B. et al. Thermal sensations during a partial-body cryostimulation exposure in elite basketball players, *Journal of human kinetics*, **62** (1), 55 (2018). DOI: 10.1515/hukin-2017-0158
12. Valenza A., Bianco A., Filingeri D. Thermosensory mapping of skin wetness sensitivity across the body of young males and females at rest and following maximal incremental running, *Journal of physiology-London*, **597** (13), 3315 (2019). DOI: 10.1113/JP277928
13. Hinde K., Lloyd R., Low C. et al. The effect of temperature, gradient, and load carriage on oxygen consumption, posture, and gait characteristics, *Eur J Appl Physiol*, **117** (3), 417 (2017). DOI: 10.1007/s00421-016-3531-7
14. Singhal V., Maffazioli G. D., Ackerman K. E. et al. Effect of chronic athletic activity on brown fat in young women, *PLOS ONE*, **11** (5), e0156353 (2016). DOI: 10.1371/journal.pone.0156353
15. Bocharov M. I. Thermoregulation in cold environments (review). Report II, *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: mediko-biologicheskie nauki*, **2**, 5 (2015).
16. Erokhin A. N., Popkov A. V. Vliyanie lokal'noi gipotermii na velichinu elektricheskogo potentsiala biologicheskii aktivnykh toчек u ortopedo-travmatologicheskikh bol'nykh, sportsmenov i zdorovykh ne treniruyushchikhsya yunoshei, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, **3**, 257 (2015).
17. Kozlov A. V., Son'kin V. D. Infrakrasnaya teplovizionnaya diagnostika podkozhnykh termogeneratorov nesokratitel'nogo teploobrazovaniya, *Fiziologiya cheloveka*, **45** (6), 86, (2019). DOI 10.1134/S0131164619060079

УДК 636: 612.1: 636.3

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕТА-ЭНДОРФИНА В КРОВИ У ОВЕЦ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Сеин О. Б.¹, Холоша А. С.¹, Лещуков К. А.², Саргсян Э. Г.¹, Иброхимов И. А.¹

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

²*Орловский государственный аграрный университет, Орел, Россия*

E-mail: seina.v@yandex.ru

Эксперименты проводились на овцах романовской породы 2-летнего возраста, которые подвергались транскраниальной электростимуляции с использованием двух режимов. До и после электростимуляции у овец исследовали поведенческие реакции, клинические параметры и брали кровь из яремной вены с применением вакуумных пробирок. В крови определяли общие гематологические показатели с использованием общепринятых методик и гематологического анализатора Abacus junior vet, а также содержание бета-эндорфина иммуноферментным методом. Показано, что при первом режиме, который предусматривал подачу на электроды постоянного тока от 0 до 6,0 мА с последующей подачей прямоугольных импульсов с частотой 75 Гц, длительностью 3,0 мс и амплитудой 3,0 мА в течение 30 мин, ответная реакция опиоидергических структур мозга у овец была более выраженной и характеризовалась значительным увеличением содержания бета-эндорфина в крови животных. При использовании второго режима, включающего подачу постоянного тока от 0 до 3,0 мА, прямоугольные импульсы с частотой 90 Гц с длительностью 3,0 мс и амплитудой 3,0 мА, активность серотонинергических структур мозга у овец была относительно низкой, о чём свидетельствовало содержание бета-эндорфина в крови овец, уровень которого через 180 мин после электроанеса был в среднем на 9,67 пмоль/л меньше по сравнению с первым режимом.

Ключевые слова: овцы, транскраниальная электростимуляция, антиноцицептивная система, анод, катод, кровь, бета-эндорфин, импульсный ток, постоянный ток.

ВВЕДЕНИЕ

О методе транскраниальной электростимуляции (ТЭС) впервые стало известно в 1902 году после первых экспериментов проведённых французским физиологом С. Ледюком [1, 2]. Экспериментатор преследовал основную цель – добиться получения электронаркоза. Однако первые попытки С. Ледюка и последующие исследования учёных в данном направлении не увенчались успехом. Дальнейшие исследования показали, что ТЭС не может вызывать стабильного наркоза у животных и человека [3, 4]. В то же время экспериментально были подтверждены анальгетические эффекты ТЭС, что стало широко использоваться в медицинской практике. Были сконструированы аппараты для ТЭС Электронаркон, Электонаркон-1, ЛЭНАР, БИЛЭНАР, ЭТРАНС (Россия), ANESTHELEC, (Франция), которые адаптированы для человека и используются в медицинской практике.

Аппараты для проведения ТЭС у животных (ГИ-1, Электроанестезиатор), изготовленные небольшими сериями, в основном представляли собой экспериментальные варианты. Режимы электростимуляции при их использовании имели широкие диапазоны и различия, что сопровождалось нестабильностью результатов. Не было чёткого обоснования применения ТЭС у разных видов животных. В этой связи разработанная аппаратура, да и сам метод ТЭС, не нашел широкого применения в современной практике ветеринарной медицины.

После разработки и серийного выпуска аппаратов серии «Трансаир» в Институте физиологии РАН РФ под руководством лауреата Государственной премии СССР профессора В. П. Лебедева метод ТЭС стал широко применяться не только в медицинской практике [5–9], но и в ветеринарии. В источниках литературы имеются сведения о использовании ТЭС для нормализации функциональной активности органов пищеварения у животных [10–13], лечения телят больных диспепсией [14], при транспорте стрессе у животных [15]. В то же время во всех этих работах авторы использовали различные режимы постоянного и импульсного токов, продолжительность и кратность электровоздействия, различные способы наложения электродов. Это свидетельствует о том, метод ТЭС в практике ветеринарной медицины находится на стадии становления и требует дальнейшего изучения и производственной апробации.

Учитывая вышеизложенное, целью наших исследований, являлось изучение влияния различных режимов ТЭС на функциональную активность серотонинергических структур мозга у овец.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводились в условиях ветеринарной клиники Курской государственной сельскохозяйственной академии имени И. И. Иванова. Объектом исследований являлись овцы 2-летнего возраста романовской породы. Кормление и содержание подопытных животных осуществлялось согласно существующим нормам.

Транскраниальную электростимуляцию проводили с использованием аппарата ТЭС-ВЕТ и специальных электродов разработанной нами конструкции [16]. Было проведено два эксперимента, в которых апробировали два режима ТЭС. Во время первого эксперимента использовали режим, который предусматривал подачу на электроды, расположенные в области затылочной (анод) и лобной (катод) костей, постоянного и импульсного токов (рисунок). При этом вначале подавался постоянный ток плавно нарастающий в течение двух минут от 0 до 6,0 мА. Затем на электроды в той же полярности подавался импульсный ток с частотой 75 Гц, длительностью 3,0 мс и амплитудой 3,0 мА. Электростимуляцию проводили один раз в день в течение трёх дней подряд. Продолжительность одного электросеанса составляла 30 мин.

Во время второго эксперимента применяли режим предусматривающий подачу на электроды постоянного тока от 0 до 3,0 мА и импульсного тока с частотой 90 Гц, длительностью импульса 3,5 мс и амплитудой 3,0 мА. Последовательность и

продолжительность электростимуляции были такими же как и при проведении первого эксперимента.



Рис. Расположение электродов при транскраниальной электростимуляции у подопытной овцы.

Во время проведения экспериментов осуществляли наблюдение за подопытными животными, следили за их поведением, учитывали основные клинические параметры: температуру тела, частоту пульса, количество дыхательных движений. При постановке животных на эксперимент и после окончания последнего электросеанса у всех овец брали кровь с использованием вакуумных пробирок Venosafe TERUMO (производство Бельгия) до начала ТЭС, через 60 и 180 мин после электросеанса. В крови определяли общие гематологические показатели (СОЭ, гематокрит, эритроциты, лейкоциты, гемоглобин) с использованием общепринятых методик и гематологического анализатора (Abacus junior vet), а также содержание бета-эндорфина с применением иммуноферментного анализа и набора реактивов Peninsula (США).

Полученные в период исследований данные подвергались биометрической обработке [17] с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения экспериментов было установлено, что используемые нами режимы ТЭС не оказывали отрицательного влияния на организм подопытных животных. Клинические параметры у всех овец после проведённых электросеансов находились в пределах физиологических границ: температура тела составляла 38,7–39,8 °С, частота пульса – 75–80,0 уд/мин, количество дыхательных движений –

18–28 дых/мин. В то же время поведенческие реакции у овец во время проведения электростимуляции с использованием разных режимов имели определённые отличия. Так, при первом режиме у большинства овец в начале электросеанса наблюдалось кратковременное (5–10 мин) возбуждение. Животные постоянно делали перемежающиеся движения ногами, мотали головой, некоторые овцы ложились, затем вставали, издавали звуковые сигналы в виде короткого блеяния. Затем животные успокаивались и к окончанию электросеанса принимали лежачее положение. При этом голова у овец была опущена, глаза полузакрыты. Однако при лёгком покалывании кожи иглой животные активно реагировали на раздражитель. После окончания электросеанса и снятия электродов овцы в течение 15–20 мин находились в заторможенном состоянии. Они принимали уединённое положение в помещении, корм не принимали, не реагировали на других животных, находившихся рядом. Через 20–30 мин активность у овец повышалась, они пили воду, принимали корм, и их общее состояние не отличалось от животных, которым ТЭС не проводили.

У овец, подвергавшихся электростимуляции с использованием второго режима, поведенческие реакции во время электросеанса характеризовались разнонаправленностью. Так, у большинства овец после подачи импульсного тока на электроды отмечалась ответная реакция проявляющаяся повышением двигательной активности. Некоторые овцы делали попытки выпрыгнуть из станка, постоянно мотали головой и пытались освободиться от фиксатора с электродами. При этом овцы издавали протяжные блеющие звуки. Через 10–15 мин большинство животных успокаивались и до окончания электросеанса неподвижно стояли в станке. В то же время у двух овец, подвергавшихся ТЭС во втором режиме, поведенческие реакции имели иной характер, после подачи импульсного тока они принимали лежачее положение и находились в таком состоянии до окончания электросеанса. После окончания электросеанса все овцы были активными, перемещались по помещению, пили воду и принимали корм.

Со стороны общих гематологических параметров у овец, подвергавшихся ТЭС в первом режиме, отмечалось повышение гематокрита и показателей «красной» крови (таблица 1). Так, показатели гематокрита, содержания эритроцитов и гемоглобина через 180 мин после окончания электросеанса по сравнению с фоновыми значениями повысились в среднем соответственно на 2,4 %; $0,61 \cdot 10^{12}/л$ и 8,0 г/л. У овец, подвергавшихся ТЭС с использованием второго режима, изменения данных показателей крови были менее выраженными (1,2 %; $0,15 \cdot 10^{12}/л$; 1,3 г/л). Что касается лейкоцитов, то их содержание как при использовании первого, так и второго режимов существенных изменений не имело и соответственно находилось в пределах $9,10 \pm 0,63 - 9,24 \pm 0,49 \cdot 10^9/л$ и $9,20 \pm 0,58 - 9,35 \pm 0,61 \cdot 10^9/л$.

Исследование бета-эндорфина показало (таблица 2), что у овец, подвергавшихся ТЭС в первом режиме, отмечалось значительное повышение его содержания. Если до начала эксперимента уровень данного нейропептида составлял $6,14 \pm 0,20$ пмоль/л, то через 60 мин он достоверно ($p < 0,01$) увеличился в среднем на 11,6 пмоль/л, а через 180 мин – на 12,4 пмоль/л.

У овец, которым проводили ТЭС с использованием второго режима, изменения в содержании бета-эндорфина были менее выраженными. При постановке животных на эксперимент его уровень в крови составлял $6,17 \pm 0,18$ пмоль/л, через 60 мин после окончания электросеанса он повысился в среднем на 2,5 пмоль/л, а в конце эксперимента на 0,37 пмоль/л. Таким образом, при использовании первого режима ответная реакция опиоидергической системы у овец на электростимуляцию была более выраженной по сравнению со вторым режимом.

Таблица 1
Гематологические показатели у овец, подвергавшихся транскраниальной электростимуляции

Показатели	Время исследования			
	до начала ТЭС	после ТЭС		
		через 30 мин	через 60 мин	через 180 мин
СОЭ, мм/час	$0,95 \pm 0,07$ $0,90 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$ $0,90 \pm 0,04$	$0,90 \pm 0,04$ $0,87 \pm 0,06$	$0,85 \pm 0,06$ $0,85 \pm 0,05$
Гематокрит, %	$35,5 \pm 1,06$ $35,8 \pm 1,11$	$36,6 \pm 1,10$ $36,0 \pm 1,25$	$37,0 \pm 1,15$ $36,6 \pm 1,30$	$37,9 \pm 1,20$ $37,0 \pm 1,28$
Эритроциты, $\cdot 10^{12}/л$	$8,03 \pm 0,26$ $8,05 \pm 0,23$	$8,10 \pm 0,27$ $8,05 \pm 0,34$	$8,40 \pm 0,30$ $8,07 \pm 0,20$	$8,64 \pm 0,20^*$ $8,10 \pm 0,31$
Лейкоциты, $\cdot 10^9/л$	$9,16 \pm 0,64$ $9,20 \pm 0,58$	$9,20 \pm 0,58$ $9,25 \pm 0,47$	$9,10 \pm 0,63$ $9,30 \pm 0,52$	$9,24 \pm 0,49$ $9,35 \pm 0,61$
Гемоглобин, г/л	$108,5 \pm 3,1$ $107,2 \pm 3,0$	$109,0 \pm 3,3$ $108,0 \pm 4,0$	$109,5 \pm 2,8$ $108,4 \pm 3,3$	$116,5 \pm 3,0$ $108,5 \pm 4,5$

Примечание: * – при $p < 0,05$ по сравнению с показателями полученными до начала ТЭС.

Таблица 2
Содержание бета-эндорфина в крови овец, подвергавшихся транскраниальной электростимуляции (пмоль/л)

Режим ТЭС	Время исследования			
	до начала ТЭС	после ТЭС		
		через 30 мин	через 60 мин	через 180 мин
1	$6,14 \pm 0,20$	$8,11 \pm 0,23$	$17,7 \pm 0,34^{*•}$	$18,5 \pm 0,29^{*•}$
2	$6,17 \pm 0,18$	$7,50 \pm 0,30$	$8,64 \pm 0,25^*$	$8,83 \pm 0,37^*$

Примечание: * – при $p < 0,05$ по сравнению с показателями полученными до начала ТЭС;
• – при $p < 0,05$ по сравнению первого режима со вторым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что используемые нами режимы ТЭС не оказывали отрицательного влияния на подопытных животных. В то же время поведенческие реакции и гематологические показатели, полученные в ходе проведения эксперимента, указывают на то, что первый режим ТЭС являлся более оптимальным. При данном режиме поведение животных было спокойным, они быстрее восстанавливались после электросеанса. Повышение содержания эритроцитов и гемоглобина после ТЭС указывает на активизацию «дыхательной» функции крови и обменных процессов, а существенное увеличение в крови бета-эндорфина говорит о выраженной ответной реакции опиоидергической системы животных на выбранный нами режим ТЭС.

Повышение двигательной активности, отсутствие существенных изменений со стороны общих гематологических параметров и относительно низкое содержание бета-эндорфина в крови овец, подвергавшихся ТЭС во втором режиме, свидетельствует о том, что он уступает по своей эффективности первому. По нашему мнению, это связано прежде всего, с частотой тока используемого в эксперименте. Если при первом режиме она составляла 75 Гц, то во втором 90 Гц. Это согласуется с исследованиями проведёнными В. П. Лебедевым и др. [6–8] на кроликах, в которых экспериментально было подтверждено, что ТЭС с параметрами первого режима сопровождается наиболее выраженной реакцией антиноцицептивной системы. По данным исследователей даже небольшое отклонение от указанных параметров в меньшую или в большую сторону, эффективность ТЭС снижается. Полученные нами результаты можно использовать при разработке новых способов регуляции опиоидергических механизмов мозга у животных с применением не инвазивных методов.

Список литературы

1. Leduc S. Production du Sommeil et de L' Anesthesie General et Local par le Courants Electriques / S. Leduc // C. R. Acad. Sci. – 1902. – V.135. – P. 199–200.
2. Leduc S. L'inhibition Cerebral Electrique chez L'Homme / S. Leduc // Arch. d' Electricite Medicale. – 1902. – V. 120. – P. 769–775.
3. Reinolds D. V. Surqery in the rat during electrical analqesia produced by focal brain stimulation / D. V. Reinolds // Science. – 1969. – V. 164. – P. 444–445.
4. Liebeskind J. G. Analqesia from electrical stimulation of tht periaqueductal grey mater in the cat: behavioral observations and inhibitory effects on spinal cord interneurons / J. G. Liebeskind, G. Guilband, J. M. Besson, J. L. Oliveras // Brain Res. – 1973. – V. 50, №3. – P. 441–446.
5. Лебедев В. П. Разработка и обоснование лечебного применения транскраниальной электростимуляции защитных механизмов мозга с использованием принципов доказательной медицины / В. П. Лебедев, В. И. Сергиенко // Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально – клинические исследования. Сб. статей. – Т2. – С. Пб., 2003. – С. 11–68.
6. Лебедев В. П. Транскраниальная электростимуляция: новый подход / В. П. Лебедев // Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально-клинические исследования. Сб. статей. – Т.1. – С. Пб., 2005. – С. 22–49.
7. Лебедев В. П. Об опытном механизме транскраниальной электроаналгезии / В. П. Лебедев, А. Б. Савченко, Я. С. Кацнельсон, А. В. Красюков и др. // Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально-клинические исследования. Т.1. – СПб, 2005. – С. 91–105.

8. Лебедев В. П. Значение серотонинергической системы мозга для развития транскраниальной электроанальгезии / В. П. Лебедев, А. Б. Савченко, В. А. Оттелин, Р. П. Кучеренко // Транскраниальная электростимуляция. Экспериментально – клинические исследования. Т.1. – СПб, 2005. – С. 106–124.
9. Лебедев В. П. Транскраниальная электростимуляция эндорфинных структур мозга: активация регенерации печени и онкостатический эффект / В. П. Лебедев, М. В. Мелихова, С. П. Нечипоренко, М. А. Рожко и др. // Актуальные проблемы ТЭС – терапии. Тезисы докладов науч. – практ. конференции посвящённой 25-летию разработки и внедрения метода ТЭС. –СПб., 2008 – С. 67–69.
10. Аксёнов А. А. Коррекция функционального состояния печени у кроликов и собак с использованием транскраниальной электростимуляции: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. / Аксёнов А. А. – Белгород, 2009. – 19с.
11. Кизиллов С. А. Влияние транскраниальной электростимуляции на морфофункциональные особенности желудка у свиней / С. А. Кизиллов, О. Б. Сеин, М. В. Беседин // Научные проблемы производства продукции животноводства и улучшение её качества. Сб. науч. работ. – Брянск, 2004. – С. 249–251.
12. Григорьев Д. А. Использование даларгина и ТЭС для коррекции функционального состояния желудка у животных / Д. А. Григорьев, А. Н. Зохилов // Агропромышленный комплекс: контуры будущего. Мат-лы междунар. науч.–практ. конференции. – Курск: изд-во Курской ГСХА, 2013. – С. 44–45.
13. Зохилов А. Н. Гомеостатическое влияние импульсного тока на сократительную функцию рубца у овец / А. Н. Зохилов // Агропромышленный комплекс: контуры будущего. Мат-лы междунар. науч. – практ. конференции. – Курск: изд-во Курской ГСХА, 2013. – С. 45–46.
14. Беседин М. В. Применение транскраниальной электростимуляции для лечения телят, больных диспепсией: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук. / Беседин М. В. – Курск, 2000. – 19 с.
15. Соловьёва М. А. Транскраниальная электростимуляция как способ профилактики транспортного стресса у крупного рогатого скота / М. А. Соловьёва, О. Б. Сеин, К. А. Лещуков // Развитие аграрного сектора в условиях вступления России в ВТО. Мат-лы междунар. науч.–практ. конференции. – Смоленск, 2012. – С. 76–77.
16. Патент РФ №162193, 2016. Устройство для проведения транскраниальной электростимуляции у животных. Авт. Сеин О. Б., Сеин Д. О., Желнина М. А., Михайлов К. А.
17. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий – М.: Высшая школа, 1973. – 245с.

BEHAVIORAL REACTIONS AND THE CONTENT OF BETA_ENDORPHINE IN THE BLOOD OF SHEEP WITH DIFFERENT MODES OF TRANSCRANIAL ELECTRICAL STIMULATION

Sein O. B¹, Leshchukov K. A², Kholosha A. C¹, Sargsyan E. G¹, Ibrokhimov I. A¹.

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

²Orel State Agrarian University, Orel, Russia

E-mail: seina.v@yandex.ru

The development of non-invasive methods of correction of functional homeostasis of animals is currently one of the most pressing problems of physiological science. One of such methods is the use of transcranial electrical stimulation, which domestic scientists successfully use in veterinary practice to increase the adaptive ability of animals to

various conditions of technological stress. A special role in this case belongs to the study of behavioral reactions of animals under the action of transcranial electrical stimulation, as well as clinical blood parameters and the activity of opioidergic mechanisms of the brain in animals, whose activity can be assessed by the level of beta-endorphin in the blood. These methods are widely used in the practice of small-scale animal husbandry, however, in sheep breeding, these problems require, in our opinion, further study. In this regard, the aim of the research was to study the effect of various modes of transcranial electrical stimulation on the functional activity of serotonergic brain structures in sheep, as well as indicators of their functional homeostasis. The experiments were carried out on 2-year-old Romanov sheep, which were subjected to transcranial electrical stimulation using two modes. Before and after electrical stimulation, behavioral reactions, clinical parameters were studied in sheep and blood was taken from the jugular vein using vacuum tubes. The general hematological parameters in the blood were determined using generally accepted methods and the Abacus junior vet hematological analyzer, as well as the beta-endorphin content by the enzyme immunoassay. It was shown that in the first mode, which provided for the supply of direct current to the electrodes from 0 to 6.0 mA, followed by the supply of rectangular pulses with a frequency of 75 Hz, a duration of 3.0 ms and an amplitude of 3.0 mA for 30 minutes, the response of opioidergic brain structures in sheep was more pronounced and was characterized by a significant increase in the beta-endorphin content in the blood of animals. When using the second mode, which includes the supply of direct current from 0 to 3.0 mA, rectangular pulses with a frequency of 90 Hz with a duration of 3.0 ms and an amplitude of 3.0 Ma, the activity of serotonergic brain structures in sheep was relatively low, as evidenced by the content of beta-endorphin in the blood of sheep, the level of which was on average 9.67 pmol/l less in 180 minutes after the electroseance compared to the first mode.

Keywords: sheep, transcranial electrical stimulation, antinociceptive system, anode, cathode, blood, beta-endorphin, pulse current, direct current, rectangular pulses.

References

1. Leduc S. Production du Sommeil et de L'Anesthesie General et Local par le Courants Electriques, *C. R. Acad. Sci.*, **135**, 199 (1902).
2. Leduc S. L'inhibition Cerebral Electrique chez L'Homme, *Arch. d' Electricite Medicale*, **120**, 769 (1902).
3. Reinolds D. V. Surqery in the rat during electrical analqesia produced by focal brain stimulation, *Science*, **164**, 444 (1969).
4. Liebeskind J. G. Guilband G., Besson J. M., Oliveras J. L. Analqesia from electrical stimulation of the periaqueductal grey mater in the cat: behavioral observations and inhibitory effects on spinal cord interneurons, *Brain Res.*, **50**, 3, 441 (1973).
5. Lebedev V. P., Sergienko V. I. *Development and justification of the therapeutic use of transcranial electrical stimulation of the protective mechanisms of the brain using the principles of evidence-based medicine*, Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical studies. Collection of articles, **2**, 11 (S. Pb., 2003).
6. Lebedev V. P. Transcranial electrical stimulation: a new approach / V. P. Lebedev // Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical studies. Collection of articles. - Vol. 1. - S. Pb., 2005. - pp. 22-49.

7. Lebedev V. P., Savchenko A. B., Katsnelson Ya. S., Krasnyukov A. V. et al. *On the opiate mechanism of transcranial electroanalgesia*, Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical studies, **1**, 91 (St. Petersburg, 2005).
8. Lebedev V. P., Savchenko A. B., Ottelin V. A., Kucherenko R. P. *The significance of the serotonergic system of the brain for the development of transcranial electroanalgesia*, Transcranial electrical stimulation. Experimental and clinical studies, **1**, 106 (St. Petersburg, 2005).
9. Lebedev V. P., Melikhova M. V., Nechiporenko S. P., Rozhko M. A. etc. *Transcranial electrical stimulation of endorphin structures of the brain: activation of liver regeneration and oncostatic effect*, Actual problems of TES-therapy. Abstracts of scientific and practical reports. conference dedicated to the 25th anniversary of the development and implementation of the TPP method, 67 (St. Petersburg, 2008).
10. Aksenov A. A. *Correction of the functional state of the liver in rabbits and dogs with the use of transcranial electrical stimulation*: abstract. diss. for the application of the uch.step. cand. biol. nauk, 19 p. (Belgorod, 2009).
11. Kizilov S. A., Seine O. B., Besedin M. V. Effect of transcranial electrical stimulation on the morphological and functional features of the stomach in pigs, *Scientific problems of livestock production and improving its quality*, Sat. nauch. RA-bot., 249 (Bryansk, 2004).
12. Grigoriev D. A., Zohirov A. N. *the Use of dalargin and thermal power plants for correction of the functional state of the stomach in animals, agro-industrial complex: the contours of the future*. Ma-ly international scientific and practical conferences, 44 (Kursk: publishing house of the Kursk State Agricultural Academy, 2013).
13. Zohirov A. N. *Homeostatic effect of pulsed current on the contractile function of the scar in sheep*, Agro-industrial complex: contours of the poor. Ma-ly international scientific and practical conferences, 45 (Kursk: publishing house of the Kursk State Agricultural Academy, 2013).
14. Besedin M. V. *Application of transcranial electrical stimulation for the treatment of calves with dyspepsia*: abstract. diss. on the internet. learned. step. cand. biol. nauk, 19 p. (Kursk, 2000).
15. Solovyova M. A., Sein O. B., Leshchukov K. A. Transcranial electrical stimulation as a method of preventing trans-port stress in cattle, *Development of the agricultural sector in the conditions of Russia's accession to the WTO*. Ma-ly international scientific and practical conferences, 76 (Smolensk, 2012).
16. Patent of the Russian Federation No. 162193, 2016. A device for conducting transcranial electrical stimulation in animals. Auth. Sein O. B., Seio D. O., Zhelnina M. A., Mikhailov K. A.
17. Rokitsky P. F. *Biological statistics*, 245 s. (Moscow: Higher School, 1973).

УДК 581.557:579.64

РЕАКЦИЯ СОЕВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА НА ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Сытников Д. М.¹, Шейко Е. А.²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»,

Симферополь, Республика Крым, Россия

E-mail: sytnikov@list.ru

Изучена реакция сои *Glycine max* L. Мегг. на бактеризацию комплексными микробными препаратами на основе клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum*, свободноживущего азотфиксатора *Azotobacter chroococcum* и фосфатмобилизующих бактерий *Bacillus megatericum* при обработке различными дозами регулятора роста растений. Результаты вегетационных опытов указывают на перспективность использования для инокуляции семян микробных препаратов, включающих в себя клубеньковые и фосфатмобилизующие бактерии, на фоне применения ½ рекомендованной дозы биосила. Такое сочетание биоагентов способствует накоплению растениями вегетативной массы и стимулирует ризогенез, повышает вирулентность штамма-инокулянта, а также содержание фотосинтетических пигментов в листьях. При этом возрастает уровень азотфиксирующей активности симбиотических систем, их продуктивность и количество белка в семенах.

Ключевые слова: *Glycine max* (L.) Мегг., *Bradyrhizobium japonicum*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatericum*, комплексная бактеризация, эффективность симбиоза, биосил.

ВВЕДЕНИЕ

Современные биотехнологии растениеводства предусматривают применение биопрепаратов на основе различных почвенных микроорганизмов, соответствующих требованиям экологической безопасности и обладающих широким спектром положительного влияния на растения и окружающую природную среду. Одним из перспективных подходов повышения продуктивности растений является оптимизация азотфиксации в агробиоценозах при участии симбиотических и ассоциативных микроорганизмов в комплексе с биологически активными веществами [1, 2].

Высокотехнологичные микробные препараты способны сохранять необходимый титр и физиологическую активность биоагентов в течение длительного времени. Актуальным является создание новых микробных препаратов на основе различных микроорганизмов, введение в их состав различных биологически активных веществ и компонентов, способствующих пролонгированию сроков хранения, улучшению свойств микроорганизмов и их выживанию после инокуляции [2, 3].

Для повышения продуктивности растений широко применяются различные стимуляторы роста растений. Их разделяют на синтетические (N-оксиды

производных пиридина [4], фосфорилированные азолы и другие аналоги фитогормонов) и природные: ауксины, гибберелины, цитокинины и фузикоцин [5].

На становление симбиоза между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями влияют вещества как растительного, так и микробного происхождения [3, 6]. Влияние отдельных синтетических регуляторов роста на продуктивность азотфиксирующего симбиоза изучено в опытах с соей и другими бобовыми растениями. Установлено, что применение регуляторов роста в определённых концентрациях стимулирует развитие бобово-ризобияльного симбиоза, активность азотфиксации, продуктивность растений и содержание в них азота [7–9].

Для повышения уровня азотфиксации в агробиоценозах создаются комплексные микробные препараты, содержащие кроме клубеньковых бактерий, свободноживущие азотфиксирующие и фосфатмобилизирующие микроорганизмы [10, 11].

Содержание пигментов в листьях зависит от симбиотических свойств клубеньковых бактерий и фазы развития растений [12]. Принято полагать, что содержание фотосинтетических пигментов в листьях инокулированных растений является одним из косвенных показателей эффективности симбиоза. При этом известно [13], что интенсивность азотфиксации в клубеньках при дефиците минерального азота определяет интенсивность фотосинтеза растений.

Целью настоящей работы было изучить влияние комплексных микробных препаратов в присутствии экологически чистого биостимулятора на эффективность симбиоза у растений сои.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований служили растения сои *Glycine max* (L.) Merr. сорта Киевская 27, а также активный штамм медленнорастущих клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum* УКМ В-6018, свободноживущий азотфиксатор *Azotobacter chroococcum* В-7171 и фосфатмобилизирующие бактерии *Bacillus megatericum* В-7168. В работе применяли регулятор роста растений биосил, приобретённый в МНТЦ «Агробиотех».

Вегетационные исследования проводили в условиях модельных опытов на вегетационной площадке при влажности субстрата 60 % и естественном освещении. Растения выращивали по 6 штук в 8-килограммовых сосудах Вагнера. Сосуды предварительно стерилизовали 20 %-ным раствором H_2O_2 . В качестве субстрата использовали оподзоленный чернозём (рН 5,8–6,1, содержание гумуса 4–5 %) с добавлением минеральных питательных растворов ($N_{30}P_{90}K_{90}$), а также микроудобрения ТМ «Реаком», содержащего комплекс микроэлементов.

Перед посевом семена стерилизовали 70 %-ным этанолом в течение 15 мин, а затем промывали проточной водой в течение 2 ч. После этого в зависимости от схемы опыта семена сои подвергали бактеризации специально подготовленной суспензией (композицией) соответствующих штаммов микроорганизмов, затем обрабатывали полной или ½ дозой биосила и выдерживали 60 мин. Титр бактериальных клеток в суспензии *B. japonicum* составил 2×10^8 кл/мл,

A. chroococcum – 2×10^8 кл/мл и *B. megatericum* – $0,5 \times 10^6$ кл/мл. Работу с микроорганизмами производили по общепринятым в микробиологии правилам.

Контролем служили растения без бактериализации, а также растения обработанные только биосилом или инокулированные активным штаммом *B. japonicum*. Отбор растительного материала для анализа производили в фазах 4-х настоящих листьев и цветения – начала плодообразования на 30-е и 60-е сутки от появления всходов соответственно.

Биометрические показатели – массу сырого и сухого вещества надземной части растений, корней и клубеньков определяли в пяти-десятикратной повторности. Фиксацию образцов производили в течение 20 мин при 105°C и высушивали при $60\text{--}65^\circ\text{C}$ в течение 4 ч. После учёта урожая в семенах сои определяли общее содержание белка по методике, описанной в практикуме [14].

Нитрогеназную (азотфиксирующую) активность определяли по уровню ацетиленовосстанавливающей активности корневых клубеньков ацетиленовым методом [6, 15]. Корни растений с клубеньками в пятикратной повторности помещали в герметично закрывающиеся стеклянные флаконы емкостью 75 см^3 , в которые вводили 10 % ацетилена. Продолжительность инкубации – 1 ч. После инкубации газовую смесь, содержащую этилен, образовавшийся в результате редукции ацетилена нитрогеназой, анализировали на газовом хроматографе Chromatograf-504 («Mera Elwro», Польша) с пламенно-ионизационным детектором.

Определение содержания пигментов производили по методике Веллбурна [16]. Хлорофиллы и каротиноиды экстрагировали диметилсульфоксидом (на 0,1 г растительного материала 10 мл ДМСО) из высечек листьев, после чего измеряли оптическую плотность раствора на спектрофотометре «Smart Spec Plus» (Biorad, США) при 665 и 649 нм в кювете толщиной 1 см. Для измерений брали пробы средних долей тройчатых листьев закончивших рост и без видимых признаков старения. Листья отбирали из средних ярусов пяти рендомезированных растений одного варианта.

Статистическую обработку полученных данных производили по Доспехову [17]. В таблицах и в тексте представлены %, средние арифметические, стандартные ошибки и НСР. Достоверность разницы значений оценивали, используя 5 % уровень значимости ($P \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе вегетационного опыта были проанализированы экологические факторы, оказывающие существенное влияние на показатели эффективности симбиоза. Прежде всего, это активность клубеньковых бактерий, различные комбинации специфического штамма-микросимбионта (*B. japonicum*) с другими микроорганизмами при инокуляции (свободноживущий азотфиксатор *A. chroococcum* или фосфатмобилизующая бактерия *B. megatericum*), а также присутствие и доза используемого биологически-активного вещества (биосил).

Из данных таблицы 1 следует, что внесение в инокуляционную суспензию активного штамма *B. japonicum* микробных препаратов *A. chroococcum* и

B. megatericum достоверно приводило к замедлению накопления зелёной массы растениями сои (варианты 6 и 7) в фазу 4-х настоящих листьев.

Таблица 1

Влияние комплексных микробных препаратов и биосила на формирование надземной массы растений сои *Glycine max* L. Merr., фаза 4-х настоящих листьев

№ п/п	Инокуляция (обработка)	Надземная масса		Сухая надземная масса
		г/растение	% к штамму	г/растение
1	Контроль	8,49 ± 0,51	104	1,66 ± 0,06
2	Биосил	6,76 ± 0,52*	83	1,62 ± 0,18
3	Штамм <i>B. japonicum</i>	8,15 ± 0,58	100	1,63 ± 0,13
4	<i>B. japonicum</i> + биосил	8,54 ± 0,53	105	1,61 ± 0,12
5	<i>B. japonicum</i> + биосил (½)	8,34 ± 0,42	102	1,59 ± 0,17
6	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	7,32 ± 0,43*	90	1,52 ± 0,05*
7	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i>	7,77 ± 0,15*	95	1,52 ± 0,07*
8	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	6,36 ± 0,34*	78	1,34 ± 0,07*
9	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	8,51 ± 0,05	104	1,61 ± 0,17
10	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил	8,39 ± 0,69	103	1,68 ± 0,15
11	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил (½)	8,91 ± 0,74	109	1,68 ± 0,13

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных контроля.

При обработке семян биосилом без бактериализации показатели надземной массы растений были почти самыми низкими в сравнении с контролем и другими опытными вариантами. Для формирования надземной массы имела значение доза используемого биологически активного вещества. Так, при использовании комплексных препаратов с рекомендованной дозой биосила, было отмечено достоверное угнетение роста растений (вариант 8) или незначительное увеличение их массы (варианты 4 и 10) в сравнении с инокуляцией *B. japonicum*. В то же время, применение ½ дозы биосила во всех вариантах её применения проявилось тенденцией к увеличению накопления надземной массы растений (варианты 5, 9 и 11), где незначительная прибавка находилась в пределах 4–9 %. По показателям сухой надземной массы достоверные зависимости между вариантами опыта сохранялись.

Таблица 2

Влияние комплексных микробных препаратов и биосила на формирование надземной массы растений сои *Glycine max* L. Merr., фаза цветения – начала плодообразования

№ п/п	Инокуляция (обработка)	Надземная масса		Сухая надземная масса
		г/растение	% к штамму	г/растение
1	Контроль	9,94 ± 0,29	83	2,48 ± 0,16
2	Биосил	10,01 ± 0,71	84	2,43 ± 0,08
3	Штамм <i>B. japonicum</i>	11,91 ± 1,22*	100	2,53 ± 0,22
4	<i>B. japonicum</i> + биосил	11,30 ± 0,34*	95	2,48 ± 0,10
5	<i>B. japonicum</i> + биосил (½)	13,11 ± 0,27*	110	2,75 ± 0,10*
6	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	12,51 ± 0,51*	105	2,58 ± 0,11
7	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i>	11,19 ± 0,68*	94	2,48 ± 0,14
8	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	11,51 ± 0,71*	97	2,49 ± 0,11
9	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	10,53 ± 0,18*	88	2,37 ± 0,14
10	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил	10,74 ± 0,33*	90	2,42 ± 0,11
11	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил (½)	12,86 ± 0,57*	108	2,81 ± 0,11*

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных контроля.

К началу плодообразования все растения были хорошо развиты (табл. 2). Инокуляция сои активным штаммом *B. japonicum* и комплексными микробными препаратами на его основе достоверно увеличивали накопление растениями надземной массы в сравнении с контролем. Наиболее выраженное её нарастание отмечалось при инокуляции растений активным штаммом, а также комплексным микробным препаратом, включающим фосфатмобилизующие бактерии при обработке ½ дозы биосила (варианты 5 и 11). Показатели сухой надземной массы достоверно превышали контроль только в упомянутых вариантах опыта (см. табл. 2).

Данные о влиянии комплексных микробных препаратов и биосила на формирование корневой системы у растений сои в фазу 4-х настоящих листьев представлены в таблице 3. Достоверное увеличение массы корней в сравнении с контролем наблюдалось при инокуляции активным штаммом *B. japonicum*, а также при его сочетании с *A. chroococcum* и *B. megatericum* на фоне биосила (варианты 3, 8 и 11). Во всех остальных вариантах применение совместной инокуляции

микробными препаратами и биосилом не оказывало существенного влияния на ризогенез. Обработка семян биосилом без инокуляции проявилась тенденцией к замедлению роста корневой системы (вариант 2).

Таблица 3

Влияние комплексных микробных препаратов и биосила на ризогенез растений сои *Glycine max* L. Merr.

№ п/п	Инокуляция (обработка)	Фаза развития			
		4-х настоящих листьев		Цветение	
		г/растение	% к штамму	г/растение	% к штамму
1	Контроль	4,77 ± 0,19	88	6,99 ± 0,44	100
2	Биосил	4,03 ± 0,55	74	5,61 ± 0,34*	80
3	Штамм <i>B. japonicum</i>	5,45 ± 0,39*	100	6,98 ± 0,41	100
4	<i>B. japonicum</i> + биосил	4,79 ± 0,32	88	5,41 ± 0,51*	78
5	<i>B. japonicum</i> + биосил (½)	5,39 ± 0,56	99	7,33 ± 0,55	105
6	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	5,04 ± 0,47	92	5,22 ± 0,50*	75
7	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i>	4,75 ± 0,46	87	5,72 ± 0,48*	82
8	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	5,64 ± 0,25*	103	5,70 ± 0,31*	82
9	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	5,26 ± 0,42	97	5,36 ± 0,61*	77
10	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил	4,78 ± 0,30	88	4,98 ± 0,54*	71
11	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил (½)	6,10 ± 0,58*	112	7,12 ± 0,47	102

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных контроля.

С наступлением цветения масса корневой системы растений увеличивалась во всех вариантах, однако применение комплексных микробных препаратов заметно сдерживало её развитие. Из данных таблицы 3 следует, что достоверное снижение массы корней в сравнении с контролем было отмечено во всех вариантах опыта за исключением инокуляции активным штамом *B. japonicum*, (в т.ч. при обработке ½ дозы биосила) и комплексным препаратом на основе *B. megatericum* с ½ дозы биосила.

Важным показателем эффективности соево-ризобиального симбиоза является количество и масса образовавшихся на корнях клубеньков (табл. 4). Растения, выращенные без инокуляции и после обработки биосилом, не формировали

клубеньков. Они могли появляться спонтанно, в единичном количестве, и без способности фиксировать азот атмосферы.

В фазу 4-х настоящих листьев у растений, инокулированных активным штаммом *V. japonicum*, применение биосила достоверно увеличивало количество клубеньков на корнях (варианты 4 и 5). Повышение их количества также отмечено при использовании комплексных микробных препаратов, включающих в себя кроме активного штамма *V. japonicum* фосфатмобилизующие бактерии *V. megatericum* и биосил (варианты 7, 10 и 11). Показатели массы клубеньков во всех вариантах инокуляции находились в пределах ошибки опыта, достоверно уступая контролю при использовании комплексных микробных препаратов, содержащих свободноживущий азотфиксатор *A. chroococcum* и биосил (варианты 8 и 9).

Таблица 4

Влияние комплексных микробных препаратов на индуцирование корневых клубеньков у сои *Glycine max* L. Merr.

№ п/п	Инокуляция (обработка)	Фаза развития			
		4-х настоящих листьев		Цветение	
		шт/ растение	г/ растение	шт/ растение	г/ растение
1.	Контроль	0	0	0	0
2.	Биосил	0	0	0	0
3.	Штамм <i>V. japonicum</i>	18 ± 1,1	0,37 ± 0,03	35 ± 2,1	0,69 ± 0,05
4.	<i>V. japonicum</i> + биосил	24 ± 1,6*	0,35 ± 0,04	34 ± 1,7	0,67 ± 0,01
5.	<i>V. japonicum</i> + биосил (½)	26 ± 0,6*	0,35 ± 0,02	35 ± 1,5	0,70 ± 0,01
6.	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	21 ± 1,8	0,38 ± 0,03	34 ± 1,9	0,65 ± 0,01
7.	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i>	24 ± 1,4*	0,34 ± 0,03	34 ± 1,1	0,65 ± 0,01
8.	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	16 ± 1,4	0,25 ± 0,02*	29 ± 1,6*	0,47 ± 0,01*
9.	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	21 ± 1,4	0,28 ± 0,03*	30 ± 1,5*	0,57 ± 0,01*
10.	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i> + биосил	23 ± 1,0*	0,37 ± 0,01	31 ± 1,9	0,69 ± 0,01
11.	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i> + биосил (½)	25 ± 1,0*	0,37 ± 0,03	34 ± 1,8	0,74 ± 0,01

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных инокуляции штаммом *V. japonicum*.

С наступлением цветения количество и масса клубеньков значительно возрастали, существенно не различаясь по большинству вариантов инокуляции

(обработки). При этом микробные препараты, содержащие *A. chroococcum* при обработке биосилом, по-прежнему, достоверно угнетали клубенькообразование (см. табл. 4).

Известно, что фиксация молекулярного азота клубеньками тесно сопряжена с процессами фотосинтеза, в связи с чем содержание фотосинтетических пигментов в листьях рассматривают в качестве косвенного показателя эффективности бобово-ризобиального симбиоза. Результаты опыта показали (табл. 5), что инокуляция активным штаммом *V. japonicum*, а также комплексными микробными препаратами положительно влияли на изменение содержания в листьях хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в фазу цветения – начала плодообразования.

Таблица 5

Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г)
в листьях сои (*Glycine max* L. Merr.), инокулированной комплексными микробными препаратами, фаза цветения – начала плодообразования

№ п/п	Инокуляция (обработка)	хлорофилл <i>a</i>	хлорофилл <i>b</i>	каротиноиды
1	Контроль	0,98 ± 0,05*	0,33 ± 0,01*	0,31 ± 0,01*
2	Биосил	0,80 ± 0,01*	0,25 ± 0,01*	0,29 ± 0,01*
3	Штамм <i>V. japonicum</i>	1,75 ± 0,02	0,51 ± 0,01	0,52 ± 0,01
4	<i>V. japonicum</i> + биосил	1,96 ± 0,01*	0,57 ± 0,01*	0,55 ± 0,01*
5	<i>V. japonicum</i> + биосил (½)	2,67 ± 0,03*	0,83 ± 0,01*	0,66 ± 0,01*
6	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	2,36 ± 0,05*	0,72 ± 0,02*	0,57 ± 0,01*
7	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i>	1,89 ± 0,02*	0,55 ± 0,01*	0,55 ± 0,01*
8	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	2,52 ± 0,04*	0,73 ± 0,02*	0,57 ± 0,01*
9	<i>V. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	2,47 ± 0,02*	0,72 ± 0,01*	0,56 ± 0,01*
10	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i> + биосил	1,97 ± 0,06*	0,60 ± 0,03*	0,54 ± 0,01
11	<i>V. japonicum</i> + <i>V. megatericum</i> + биосил (½)	2,13 ± 0,06*	0,66 ± 0,05*	0,61 ± 0,02*

Примечание: «*» – достоверность рассчитана относительно данных инокуляции штаммом *V. japonicum*.

Применение обработки биосилом без инокуляции достоверно снижало содержание пигментов в листьях в сравнении с контролем. Максимальное же их количество содержали растения, инокулированные активным штаммом *V. japonicum* после обработки ½ дозы биосила.

Таблица 6

Азотфиксирующая активность клубеньков (АФА), урожай и содержание белка в семенах сои (*Glycine max* L. Merr.), инокулированной комплексными микробными препаратами

№ п/п	Инокуляция (обработка)	АФА, мкмоль C ₂ H ₄ / (растение · ч)		Урожай		Содержание белка, %
		I	II	г/сосуд	% к штамму	
1.	Контроль	0	0	10,0	30	40,7
2.	Биосил	0	0	28,5	85	40,2
3.	Штамм <i>B. japonicum</i>	5,4 ± 0,53	7,93 ± 0,17	33,5	100	41,8
4.	<i>B. japonicum</i> + биосил	4,9 ± 0,55	7,94 ± 0,62	35,0	104	42,1
5.	<i>B. japonicum</i> + биосил (½)	4,9 ± 0,11	8,76 ± 0,70*	37,5	112	41,8
6.	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i>	4,3 ± 0,58	7,37 ± 0,40	33,4	100	42,7
7.	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i>	5,0 ± 0,77	7,55 ± 0,56	35,1	105	41,8
8.	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил	4,9 ± 0,70	8,08 ± 0,88	35,1	105	41,9
9.	<i>B. japonicum</i> + <i>A. chroococcum</i> + биосил (½)	4,7 ± 0,42	7,93 ± 0,31	35,5	106	41,8
10.	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил	4,4 ± 0,65	8,18 ± 0,53	33,8	101	41,3
11.	<i>B. japonicum</i> + <i>B. megatericum</i> + биосил (½)	4,7 ± 0,54	8,59 ± 0,44*	35,7	107	42,7
	НСР _{0,05}			2,1		0,9

Примечание: I – фаза 4-х настоящих листьев, II – фаза цветения – начала плодообразования; «*» – достоверность рассчитана относительно данных инокуляции штаммом *B. japonicum*.

Увеличение количества хлорофиллов *a* и *b* более чем в 1,5 раза может указывать на способность определённых доз биологически активного вещества оказывать положительное влияние на метаболизм ризобий, что отражается на их симбиотических свойствах.

В фазу 4-х настоящих листьев уровень азотфиксирующей активности растений сои, при бактеризации комплексными микробными препаратами, существенно не

отличался от аналогичных показателей при инокуляции активным штаммом *V. japonicum* и находился в пределах ошибки опыта (табл. 6). С началом плодобразования уровень нитрогеназной активности клубеньков возрастал во всех вариантах. При этом отмечено достоверное увеличение азотфиксации у растений, инокулированных активным штаммом *V. japonicum*, а также комплексным микробным препаратом, включающим в себя фосфатмобилизующие бактерии *V. megatericum* при обработке ½ дозы биосила (варианты 5 и 11).

Из представленных в таблице 6 показателей урожая следует, что применение для бактеризации семян сои большинства комплексных микробных препаратов не приводило к существенному изменению интегрального показателя эффективности взаимодействия партнёров симбиоза – зерновой продуктивности растений ($НСР_{0,05} = 2,1$ г/сосуд). Как и в случае с азотфиксирующей активностью, исключение составили растения, инокулированные *V. japonicum*, а также комплексным микробным препаратом с *V. megatericum* при обработке ½ дозы биосила (варианты 5 и 11). Достоверная прибавка урожая зерна в этих вариантах по отношению к инокуляции активным штаммом *V. japonicum* составила 12 и 7 % соответственно. В то же время, бактеризация сои любыми из изученных микробных препаратов, независимо от использования и дозировки биосила, приводила к повышению белка в семенах в сравнении с контролем без инокуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе вегетационных опытов показано, что применение рекомендованной дозы биосила при инокуляции растений сои активным штаммом *V. japonicum*, достоверно повышает вирулентность бактерий. Включение в инокуляционную суспензию фосфатмобилизующих бактерий *V. megatericum* увеличивает данный показатель независимо от использования регулятора роста.
2. Комплексные микробные препараты, включающие в себя активный штамм *V. japonicum* и свободноживущий азотфиксатор *A. chroococcum* на фоне рекомендованной дозы биосила могут положительно влиять на ризогенез растений сои.
3. Установлено, что применение ½ дозы биосила в сочетании с инокуляцией растений сои активным штаммом *V. japonicum* или в комплексе с фосфатмобилизующими бактериями *V. megatericum* способствует накоплению вегетативной массы и массы корней растениями, повышению вирулентности бактерий, а также прибавке урожая зерна.
4. Бактеризация сои любыми из изученных микробных препаратов, независимо от использования и дозировки биосила, приводила к повышению содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях и белка в семенах в сравнении с контролем без инокуляции.

Список литературы

1. Вильдфлуш И. Р. Влияние новых форм удобрений и регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и качество зерна сортов ячменя кормового назначения / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, Н. В. Барбасов // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2019. – Т. 57, № 3. – С. 297–307.
2. Титова Л. В. Роль липкогенных компонентов в повышении физиологической активности ризобий и продуктивности соево-ризобиального симбиоза / Л. В. Титова, И. С. Бровко, Н. О. Леонова [и др.] // Микробиол. журн. – 2012. – Т. 74, № 6. – С. 9–16.
3. Сытников Д. М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе / Д. М. Сытников // Biotechnol. Acta. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 34–45.
4. Пономаренко С. П. Регуляторы роста растений на основе N-оксидов производных пиридина (физико-химические свойства и биологическая активность) / Пономаренко С. П. – Киев: Техника, 1999. – 272 с.
5. Кефели В. И. Природные и синтетические регуляторы онтогенеза растений / В. И. Кефели, П. В. Власов, Л. Д. Прусакова [и др.] // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Физиология растений. – 1990. – Т. 7. – 160 с.
6. Старченков Е. П. Связывание молекулярного азота клубеньковыми бактериями в симбиотических и культуральных условиях / Е. П. Старченков, Н. И. Белима, В. М. Желюк [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1984. – 224 с.
7. Патыка В. Ф. Основные направления оптимизации симбиотической азотфиксации в современном земледелии Украины / В. Ф. Патыка, Н. З. Толкачѳв, О. Ю. Бутвина. // Физиология и биохимия культ. растений. – 2005. – Т. 37, № 5. – С. 384–393.
8. Толкачѳв Н. З. Повышение эффективности симбиотической азотфиксации и продуктивности сои путѳм применения стимуляторов и биопрепаратов / Толкачѳв Н. З. // Физиология и биохимия культ. растений – 1997. – Т. 24, № 4. – С. 304–309.
9. Шильникова В. К. Эффективность инокуляции семян гороха при обработке растений синтетическими регуляторами роста / В. К. Шильникова, О. Г. Волобуева, Г. П. Гурьев // Изв. ТСХА. – 1992. – № 1. – С. 85–90.
10. Шабаев В. П. Минеральное питание и продуктивность люцерны при инокуляции смешанными культурами бактерий / В. П. Шабаев // Агрехимия. – 2006 – № 9. – С. 24–32.
11. Rasipour L. Interactive Effect of phosphate solubilizing bacteria and *Bradyrhizobium japonicum* on growth nodule indices and some nutrient uptake of soybean / L. Rasipour, N. Ali Asgharzadeh // Water and Soil Science. – 2007. – Vol. 11, N 40 (A). – P. 53–63.
12. Антипчук А. Ф. Связь между показателями фотоассимиляционной активности бобовых растений и их симбиотической азотфиксацией / А. Ф. Антипчук, Р. М. Канцелярук, В. Н. Рангелова [и др.] // Микробиол. журн. – 1990. – 52, № 6. – С. 49–53.
13. Сытников Д. М. Интенсивность фотосинтеза и лектиновая активность листьев сои при инокуляции ризобиями совместно с гомологичным лектином / Д. М. Сытников, С. Я. Коць, С. М. Маличенко, Д. А. Киризий // Физиология растений. – 2006. – Т. 53, № 2. – С. 189–195.
14. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Ярош [и др.]; Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. – 430 с.
15. Hardy R. W. F. The acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: Laboratory and field evaluation / R. W. F. Hardy, R. D. Holsten, E. K. Jackson, R. C. Burns // Plant Physiol. – 1968. – 43, N 8. – P. 1185–1207.
16. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions / A. R. Wellburn // J. Plant Physiol. – 1994. – 144, N 3. – P. 307–313.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

REACTION OF SOYBEAN-RHIZOBIUM SYMBIOSIS ON THE APPLICATION OF COMPLEX MICROBIAL PREPARATIONS

Sytnikov D. M.¹, Sheiko E. A.²

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

E-mail: sytnikov@list.ru

The reaction of soybean *Glycine max* L. Merr. to inoculation with complex microbial preparations based on nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, free-living nitrogen-fixing *Azotobacter chroococcum* and phosphate-mobilizing bacteria *Bacillus megatericum* was studied under treated with various doses of plant growth regulator.

Studies were conducted under the conditions of model pot experiments on a growing plot with a substrate humidity of 60 % and natural light. The selection of plant material for analysis was carried out in the phases of 4 true leaves and flowering (the beginning of seed formation) on the 30th and 60th days from the emergence of seedlings, respectively.

Nitrogenase activity (nitrogen-fixation) was determined by the level of acetylene-reducing activity of root nodules by the acetylene method. Chlorophylls and carotenoids were extracted with dimethylsulfoxide from leaf cuttings, after which the optical density of the solution was measured on a spectrophotometer. After harvesting of soybean seeds the total protein content was determined.

The data were processed statistically. In the tables and in the text, %, arithmetic means, standard errors and least significant difference are presented. The significance of the difference in values was assessed using the 5 % significance level ($P \leq 0.05$).

The results indicate the prospective applying of microbial preparations for inoculation of seeds, including nodule and phosphate-mobilizing bacteria, on the using background of ½ the recommended dose of biosil.

The above combination of bioagents promotes the accumulation of vegetative mass by plants and stimulates their rhizogenesis, increases the virulence of the inoculant strain, as well as the content of photosynthetic pigments in the leaves. At the same time, the level of nitrogen-fixing activity of the symbiotic systems of soybean, their productivity and the amount of protein in the seeds are increased.

Keywords: *Glycine max* L. Merr., *Bradyrhizobium japonicum*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatericum*, complex bacterization, efficiency of symbiosis, biosil.

References

1. Vildflush I. R., Tsyganov A. R. and Barbasov N. V., Effect of new forms of fertilizers and growth regulators on photosynthetic activities of crops, yield and barley grain quality of feed purpose varieties, *Vestsi Natsyyanalnai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*, **57** (3), 297 (2019). (in Russ.).
2. Titova L. V., Brovko I. S., Leonova N. O., Votselko S. K., Iutinskaya G. A. and Patyka V. F., Role of sticky-gene components in the increase of rhizobia physiological activity and productivity of soybean-rhizobia symbiosis, *Mikrobiol. zhurn.*, **74** (6), 9 (2012). (in Russ.).

3. Sytnikov D. M., Biotechnology of microbial nitrogen fixers and future trends of their preparation application, *Biotechnol. Acta*, **5** (4), 34 (2012). (in Russ.).
4. Ponomarenko S. P., *Plant growth regulators based on N-oxides of pyridine derivatives (physicochemical properties and biological activity)*, 272 p. (Kiev: Tekhnika, 1999). (in Russ.).
5. Kefeli V. I., Vlasov P. V., Prusakova L. D. [et al.], Natural and synthetic regulators of plant ontogenesis, *Itoги nauki I tekhniki. VINITI. Seriya Fiziologiya rastenii*, **7**, 160 (1990). (in Russ.).
6. Starchenkov E. P., Belima N. I., Zheluk V. M. [et al.], *Bonding of molecular nitrogen by nodule bacteria under symbiotic and cultural conditions*, 224 p. (Kiev: Naukova dumka, 1984). (in Russ.).
7. Patyka V. F., Tolkachev N. Z. and Butvina O. Yu., The main optimization directions of symbiotic nitrogen fixation in modern agriculture in Ukraine, *Fiziologiya i biokhimiya kult. rastenii*, **37** (5), 384 (2005). (in Russ.).
8. Tolkachev N. Z., Enhancing the efficiency of symbiotic nitrogen fixation and productivity of soybean through the applying of stimulants and biopreparations, *Fiziologiya i biokhimiya kult. rastenii*, **24** (4), 304 (1997). (in Russ.).
9. Shylnikova V. K., Volobuyeva O. G. and Guryev G. P., Efficiency of inoculation of pea seeds under plants treatment with synthetic growth regulators, *Izvestiya TSKhA*, **1**, 85 (1992). (in Russ.).
10. Shabayev V. P., Mineral nutrition and productivity of alfalfa after inoculation with mixed cultures of bacteria, *Agrokhimiya*, **9**, 24 (2006). (in Russ.).
11. Rasipour L. and Ali Asgharzadeh N., Interactive effect of phosphate solubilizing bacteria and *Bradyrhizobium japonicum* on growth nodule indices and some nutrient uptake of soybean, *Water and Soil Science*. **11** (40 A), 53 (2007).
12. Antipchuk A. F., Kantselyaruk R. M., Rangelova R. M. [et al.], Relations between indicators of photosynthetic activity of legume plants and their symbiotic nitrogen-fixation, *Mikrobiol. zhurn.*, **52** (6), 49 (1990). (in Russ.).
13. Sytnikov D. M., Kots S. Ya, Malichenko S. M. and Kirizy D. A., Photosynthetic rate and lectin activity of soybean leaves after inoculation with rhizobia together with homologous lectin, *Russian Journal of Plant Physiology*, **53** (2), 169 (2006).
14. *Methods of biochemical research of plants*, Ed.: A.I. Ermakov, 430 p. (Leningrad: Agropromizdat, Leningr. otd-nie, 1989). (in Russ.).
15. Hardy R. W. F., Holsten R. D., Jackson E. K., and Burns R. C., The acetylene-ethylene assay for N_2 -fixation: Laboratory and field evaluation, *Plant Physiol.*, **43** (8), 1185 (1968).
16. Wellburn A. R., The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions, *J. Plant Physiol.*, 144 (3), 307 (1994).
17. Dospekhov B. A., *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)*, 351 p. (Moscow: Agropromizdat, 1985). (in Russ.).

УДК 613.24-055.1

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-220-229

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АУТОФАГИИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ КАЛОРИЙНОСТИ ПИТАНИЯ У МУЖЧИН

Тхакушинов И. А., Лысенков С. П.

*Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия
E-mail: ubrawka@mail.ru*

У мужчин различного возраста (от 30 до 69 лет) исследовали активность аутофагии при ограничении калорийности питания (ОКП) до 800–1200 ккал/сутки в течение 12 дней. Исходный уровень Beclin-1 (беклина-1) характеризовался значительной вариабельностью. ОКП вызывало увеличение концентрации беклина-1 в 2,0 раза ($p < 0,01$). В молодом возрасте выявлялись положительные корреляционные связи между количеством потерянной мышечной, тощей массы и общей воды ($r=0,96$; $p < 0,05$) и степенью снижения активности беклина. В пожилом возрасте, напротив, потеря жировой массы происходила параллельно активации беклина-1 ($r=-0,87$; $p < 0,05$). В группе молодых уровень беклина-1 положительно коррелировал с ЛПНП и уровнем холестерина и отрицательно коррелировало с ЛПВП. У пожилых, напротив, выявлялись отрицательные корреляционные связи с ЛПНП ($r=-0,99$; $p < 0,01$), холестерином ($r=-0,98$; $p < 0,01$) и положительные связи с ЛПВП ($r=0,94$; $p < 0,01$).

Ключевые слова: аутофагия, мужчины, Beclin-1, ограничение калорийности питания, холестерин, состав тела.

ВВЕДЕНИЕ

Аутофагия имеет важное значение для выживания и приспособления организма. Механизмы аутофагии направлены на удаление цитотоксических соединений или поврежденных структур, такие, как редокс-активные белковые агрегаты, либо поврежденные митохондрии [1]. Многими авторами признается положительный эффект активации аутофагии на клеточном и организменном уровне [2]. Однако, по мере накопления знаний о механизмах аутофагии это мнение разделяют не все авторы.

В настоящее время отсутствуют специфические молекулярные соединения, применимые для модуляции аутофагии у людей. Эта ситуация наблюдается на фоне достаточно большого экспериментального материала [3–5], выполненного на различных моделях и химических соединениях.

Арсенал экспериментальных терапевтических средств огромен, однако существует ряд препятствий для внедрения их в клиническую практику. Использование препаратов для лечения различных заболеваний могут оказывать ряд непредсказуемых эффектов на процесс аутофагии. К примеру, применяемый активатор аутофагии – рапамицин одновременно ингибирует клеточный рост и пролиферацию [6, 4]. Таких примеров можно привести множество. Сложность архитектуры тканей человека создает проблему специфичности модуляторов

аутофагии. В силу разнообразия функций и биохимизма различных клеток и тканей в организме включаются саногенетические реакции, сопровождающиеся в одних клетках и тканях активацией, а в других – ингибированием процесса аутофагии. Это большое препятствие, которое очень трудно преодолеть различными фармакологическими воздействиями. С этих позиций представляют интерес разработка и изучение физиологических и относительно универсальных способов модуляции аутофагии, основанных на собственных физиологических механизмах саногенеза у человека. Одним из таких подходов является ограничение калорийности питания [7]. Большинство исследований выполнены на экспериментальных моделях и чаще всего на животных [8–10]. Однако эти методы требуют тщательного изучения различных аспектов аутофагии, ее механизмов, гендерных особенностей, физиологических способов модуляции и коррекции у человека.

Цель исследования: выявить возможные закономерности между процессами активации аутофагии и ограничением калорийности питания у мужчин.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 20 мужчин разной массой тела (от 68,6 до 198 кг) и возраста (от 30 до 69 лет). Обследование проводилось на базе клиники ООО «Центр здоровье» в г. Майкопе. Ограничение калорийности питания (ОКП) в течение суток составляла 800–1200 ккал. Были проведены антропометрические исследования, общеклинический и биохимический анализ крови (общий холестерин – ОХ, липопротеиды высокой плотности – ЛПВП, липопротеиды низкой плотности – ЛПНП, триглицериды – ТГ). Определение показателей состава тела (мышечной массы – М.М., тощей массы – Т.М., жировой массы – Ж.М., общей воды тела – ОБТ, внеклеточной воды – Вн.к. В., внутриклеточной воды – Внут. В.) проводили импедансометрическим способом на аппарате Medi Ld (France) с помощью программного обеспечения EIS-ESTECK (США). Индекс массы тела (ИМТ) рассчитывался по коэффициенту Кетле: отношение массы тела (кг) к росту (m^2). Для анализа активности процессов аутофагии был выбран белок Beclin-1 (беклин-1), так как является наиболее информативным маркером аутофагии [10]. Исследование беклина-1 в сыворотке крови проводили методом ИФА на аппарате «CLARIOstarplus» BMG LABTECH (Germany) при помощи тест-наборов «Cloud-Clone Corp» (USA). Забор крови осуществлялся утром натощак при поступлении и на 12 сутки. Концентрация фермента выражалась в пг/мл.

Следуя рекомендациям ВОЗ, обследуемые были разделены на 3 возрастные группы: молодой возраст от 18–44 (n=4), средний возраст от 44 до 60 лет (n=8) и пожилой возраст от 60 до 75 лет (n=5).

Анализ цифровых данных проводился с использованием программного обеспечения IBM SPSSStatistics (26.0). Для характеристики статистического ряда использовалась описательная статистика (процентили 5 %–95 %) с вычислением медианы, среднего значения, ошибки средней, минимального и максимального значения. Для сравнения средних значений использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни, параметрический t-критерий Стьюдента. В целях

выявления связей между исследуемыми параметрами использовался корреляционный анализ Пирсона. Связь считалась достоверной при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходный уровень Beclin-1 у здоровых мужчин разных возрастов значительно варьировал в пределах 6,14–844,78 пг/мл. В связи с этим в анализ были включены значения, лежащие в межпроцентильном интервале 5 %–95 % (до ОКП $n=17$; после ОКП $n=18$).

Сравнительный анализ среднестатистических уровней беклина-1 показал достоверный рост маркера после временного ограничения калорийности питания (табл. 1).

Таблица 1
Сравнение концентрации беклина до- и после ОКП

Исследуемые группы	М ср.	σ	m_0	Медиана	Min	Max	P
1. До КОП (n=17)	48,8	38,2	9,2	35,5	9,8	141,7	$P_{1-2}=0,01^*$
2. После КОП (n=18)	101,9	89,8	21,2	70,6	33,68	377,3	

Примечание: * – использовался U-критерий Манна-Уитни

Активность фермента в среднем во всей группе повысилась в 2 раза. При этом морфометрические показатели состава тела по ряду параметров также изменились (табл. 2): снизилась общая масса тела, жировая, тощая масса, содержание внутриклеточной воды.

Таблица 2
Изменение состава тела мужчин в результате проведения курса ОКП

Состав тела до и после	М ср., кг		σ		m_0		Достоверность по t-критерию Стьюдента
	I	II	I	II	I	II	
1. Вес (n=20)	110,6	101,0	31,8	30,5	7,1	6,8	$P < 0,0001$
2. Мышечная масса (n=20)	20,2	19,7	1,8	1,8	0,4	0,4	$P < 0,0001$
3. Тощая масса (n=16)	66,3	64,5	6,0	6,0	1,5	1,5	$P < 0,0001$
4. Жировая масса (n=16)	38,2	34,2	31,0	29,3	7,7	7,3	$P < 0,0001$
5. Общая вода (n=16)	48,5	45,3	4,3	7,6	1,1	1,9	$P < 0,3$
6. Внеклеточная вода (n=16)	19,2	19,2	2,8	3,4	0,7	0,8	$P < 0,2$
7. Внутриклеточная вода (n=16)	29,4	28,0	3,0	3,0	0,8	1,0	$P < 0,006$

Примечание: I – исходные показатели; II – показатели после проведения ОКП.

Проведенный корреляционный анализ между концентрацией беклина и компонентами состава тела выявил ряд достоверных корреляционных связей.

Таблица 3

Корреляционный анализ между концентрацией беклина-1 и показателями состава тела в зависимости от возраста после ОКП у мужчин

Исследуемые группы/ возраст	Вес	ИМТ	М. М.	Т. М.	Ж. М.	ОВТ	Внек. В.	Внут. В.	
1. Вся группа	n ¹ =17	0,02	-0,03	0,21	0,21	-0,1	0,21	0,11	0,2
	n ² =18	0,46*	0,48*	0,2	0,2	0,62**	0,37	0,2	0,05
2. Молодой	n ¹ =4	0,0	-0,12	0,39	0,39	-0,02	0,39	0,49	0,27
	n ² =6	0,68	0,69	-0,36	-0,35	-0,74	-0,35	0,11	-0,32
3. Средний	n ¹ =8	0,19	0,2	-0,02	-0,02	0,35	-0,02	0,2	-0,2
	n ² =7	0,75*	0,78*	0,001	0,001	0,78*	0,46	0,12	-0,09
4. Пожилой	n ¹ =5	0,32	0,24	0,76	0,76	-0,02	0,76	0,22	0,84*
	n ² =5	0,88*	0,82*	0,8	0,8	0,79	0,8	0,72	0,46

Примечание: *достоверность – $p < 0,05$; **достоверность – $p < 0,01$; n¹ – до ОКП; n² – после ОКП; ИМТ – индекс массы тела; М.М. – мышечная масса, Т.М. – тощая масса, Ж.М. – жировая масса, ОВТ – общая вода тела, Внек. В. – внеклеточная вода, Внут. В. – внутриклеточная вода.

В исходном состоянии выявляется прямая корреляционная связь у пожилых между исходным уровнем беклина и содержанием внутриклеточной воды (табл. 3). Дальнейший корреляционный анализ выявил наличие прямых корреляционных связей между концентрацией беклина-1 после ОКП и весом, индексом массы тела, жировой массой (табл. 3) во всей группе. В молодом возрасте указанные связи не выявлялись, однако в средне-пожилом возрасте их достоверность по исследуемым параметрам оказалась значительно выше ($p < 0,01$), чем во всей группе. Другими словами, степень активации беклина-1 у мужчин находилась в прямой зависимости от общей массы тела и жировой массы, которые регистрировались после ОКП. В то же время, мы не зафиксировали наличие корреляционной связи между возрастом и уровнем беклина-1 до ОКП ($r = -0,25$; $p > 0,05$) и после ОКП ($r = -0,23$; $p < 0,5$) во всей исследуемой группе.

Для подтверждения этого заключения был проведен аналогичный корреляционный анализ у лиц с исходно нормальным весом и у лиц с ожирением. Как и предполагалось, была выявлена высокая корреляционная зависимость (табл. 4) между концентрацией беклина-1 и содержанием жировой массы после ОКП (рис.1).

Таблица 4
Корреляционный анализ между концентрацией беклина-1 и показателями
состава тела в зависимости от массы тела после ОКП у мужчин

Исследуемые группы/ возраст	Коэффициент корреляции							
	Вес	ИМТ	М. М.	Т. М.	Ж. М.	ОВТ	Внек. В.	Внут. В.
1. Нормальный вес (n=7)	0,02	-0,09	-0,03	-0,03	0,13	0,5	-0,16	0,12
2. Ожирение (n=11)	0,43	0,45	0,38	0,38	0,82*	0,38	0,36	-0,07

Примечание: *достоверность – $p < 0,05$; ИМТ – индекс массы тела; М.М. – мышечная масса, Т.М. – тощая масса, Ж.М. – жировая масса, ОВТ – общая вода тела, Внек. В. – внеклеточная вода, Внут. В. – внутриклеточная вода.

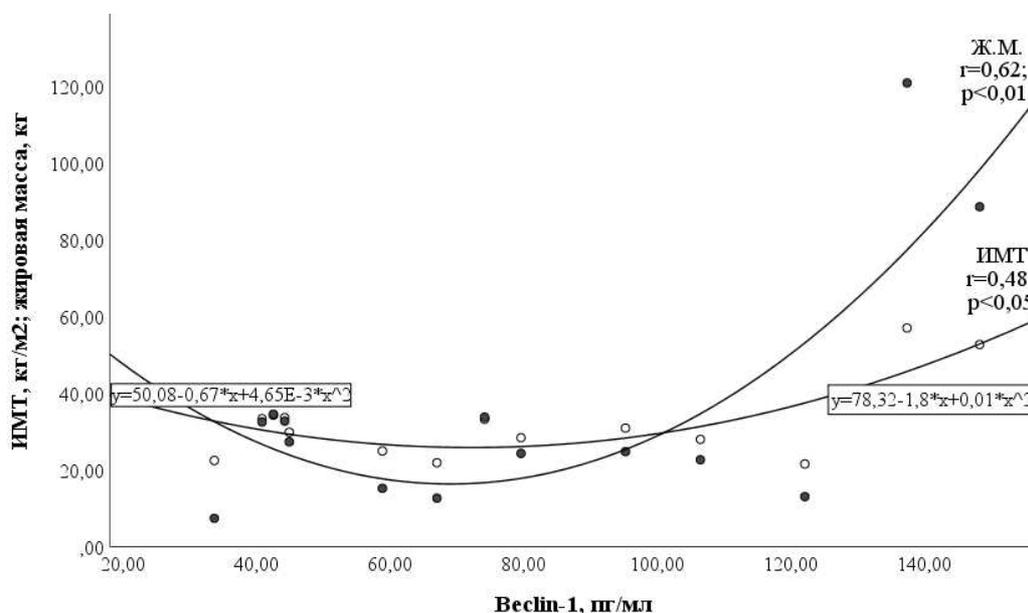


Рис. 1. График корреляционной зависимости между жировой массой (Ж. М.), индексом массы тела (ИМТ) и беклином-1 после ОКП.

В связи с выявленными корреляционными связями между содержанием жировой массы и уровнем беклина-1 определенный интерес представлял дальнейший анализ связей с показателями липидного спектра после ОКП.

Оказалось, что изменения концентрации основных компонентов липидного обмена происходило вне зависимости от уровня маркера после ОКП.

Очень важным показателем, характеризующим степень активации беклина-1, является разница (дельта) между исходными показателями беклина-1 до- и после ОКП. Исходные показатели были приняты за 100 %.

Анализ показателей дельты в различных возрастных группах не выявил статистической разницы между ними (табл. 5).

Таблица 5

Сравнение дельты концентрации беклина (в % от исходного) до- и после ОКП в зависимости от возраста

Исследуемые группы/возраст	М ср.	σ	m_0	Медиана	Min	Max	P
1. Молодой (n=4)	164,75	234,98	117,5	123,5	-40	452	$P_{1-2}=0,78$ $P_{1-3}=0,81$
2. Средний (n=8)	222,13	358,99	126,92	66,5	-35	987	$P_{2-3}=0,61$
3. Пожилой (n=5)	129,2	191,13	85,47	66,0	-17	462	

По средним значениям наиболее высокую активность беклин-1 проявлял в среднем возрасте, однако из-за неоднородности выборки эти различия оказались не достоверными.

Аналогичным образом не было подтверждено различие в реакции беклина-1 у лиц с нормальным весом и ожирением ($89,6 \pm 46,9$ пг/мл и $219,5 \pm 92,9$ пг/мл соответственно; $p < 0,4$; $M_{cp} \pm m_0$), хотя и в этом случае средние значения концентрации беклина-1 оказались значительно выше в группе с ожирением.

Корреляционный анализ между показателями дельты концентрации беклина-1 и дельтами показателей состава тела (табл. 6) выявил наличие прямой зависимости от мышечной, тощей массой ($r=0,96$; $p < 0,05$), жировой массы ($r=0,96$; $p < 0,05$) и содержанием общей воды ($r=0,96$; $p < 0,05$) в молодом возрасте и обратной зависимости между дельтой беклина-1 и дельтой жировой массы у пожилых ($r=-0,87$; $p < 0,05$).

Таким образом, прослеживаются возрастные особенности взаимосвязей между потерей отдельных компонентов состава тела и активностью беклина-1. Наиболее отчетливо они выявляются в молодом возрасте, в то время как в пожилом эти взаимосвязи с жировой массой меняются на противоположные.

Анализ взаимосвязей показателей дельты с показателями дельты состава тела не выявил достоверных закономерностей у лиц с нормальным весом и ожирением.

Таблица 6

Корреляционный анализ между дельтами концентрации беклина-1 и показателями состава тела в зависимости от возраста

Исследуемые группы/ возраст	Коэффициент корреляции							
	Вес	ИМТ	М. М.	Т. М.	Ж. М.	ОВТ	Внек. В.	Внут. В.
1. Вся группа (n=17)	-0,2	-0,33	-0,18	-0,18	-0,24	0,09	-0,01	-0,08
2. Молодой (n=4)	0,27	0,27	0,96*	0,96*	0,07	0,96*	0,86	-0,66
3. Средний (n=8)	-0,28	-0,58	-0,57	-0,57	-0,23	0,13	-0,22	-0,02
4. Пожилой (n=5)	-0,5	-0,5	-0,79	-0,79	-0,87*	-0,79	-0,05	-0,23

Примечание: *достоверность – $p < 0,05$; ИМТ – индекс массы тела; М.М. – мышечная масса, Т.М. – тощая масса, Ж.М. – жировая масса, ОВТ – общая вода тела, Внек. В. – внеклеточная вода, Внут. В. – внутриклеточная вода.

Интересные данные были получены при анализе корреляционных связей между показателями дельты концентраций беклина-1 и дельтами различных показателей липидного обмена (табл. 7). Если в пожилом возрасте эти изменения носили физиологическую направленность и характеризовались достоверной прямой связью с ЛПВП ($p < 0,01$) и обратной с ЛПНП и холестерином ($p < 0,01$), то в молодом возрасте картина менялась на противоположную: выявлялась обратная связь с ЛПВП ($p < 0,05$) и прямая – с ЛПНП ($p < 0,05$).

Таблица 7

Корреляционный анализ между дельтами концентрации беклина-1 и показателями липидного спектра в зависимости от возраста у мужчин

Возрастные группы/ возраст	Коэффициент корреляции			
	ЛПНП	ЛПВП	Общий холестерин	Триглицериды
1. Вся группа (n=17)	0,18	0,02	0,21	0,19
2. Молодой (n=4)	0,94*	-0,91*	0,59	-0,32
3. Средний (n=8)	0,44	-0,41	0,5	0,46
4. Пожилой (n=5)	-0,99*	0,94**	-0,98**	-0,33

Примечание: *достоверность – $p < 0,05$; **достоверность – $p < 0,01$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование показало, что исходный уровень беклина-1 у мужчин разного возраста и массы характеризуется большой вариабельностью.

Показано, что ограничение калорийности питания характеризовался увеличением во всей группе активности беклина-1, что подтверждалось статистически. Кроме того, рост концентрации беклина-1 находился в прямой зависимости от массы тела и жировой массы в средне-пожилом возрасте. В молодом возрасте таких связей не выявлялось. Можно предположить, что основным источником повышения концентрации беклина-1 в группе средне-пожилого возраста является жировая и мышечная масса. Имеющиеся в литературе данные говорят о том, что мышцы имеют огромные резервы для активации процесса аутофагии и, соответственно, роста ее биохимических компонентов [11]. Жировая масса в этом аспекте, особенно в условиях дефицита энергетических ресурсов по активности не уступает мышечной массе [12].

Установлено, что у молодых мужчин степень активации аутофагии определялась ее активностью в мышцах. Однако для пожилого возраста степень активации процесса находилась в обратной зависимости от количества потерянной жировой массы. Эти реакции у пожилых сопровождаются снижением уровня холестерина, ЛПНП и повышением ЛПВП. В то же время, реакцию липидного обмена у молодых обследованных объяснить пока сложно. Возможно, что активация аутофагии у молодых мужчин сопровождается потреблением ЛПВП и, соответственно, ростом ЛПНП. В литературе имеются сведения о том, что повышение активности аутофагии сопровождается увеличением количества фагосом, требующих для построения своих мембран исходных материалов: жирных кислот, липидов и холестерина [13].

Можно считать доказанным, что ограничение калорийности питания является эффективным физиологическим фактором активации процесса аутофагии у мужчин, что обосновывает применение ОКП в оздоровительных программах. Для сохранения оптимального соотношения активности аутофагии и мышечной массы во время ОКП необходимо обеспечивать адекватные физические нагрузки. Перспективность исследования заключается в выявлении физиологических факторов, влияющих на процесс аутофагии у человека.

Список литературы

1. Green D. R. Mitochondria and the Autophagy–Inflammation–Cell Death Axis in Organismal Aging / Green D. R., Galluzzi L, Kreemer G. // *Science*. – 2011. – Vol. 333, No 6046. – P. 1109–1112.
2. Lu N. HIF-1 α /Beclin-1-Mediated Autophagy Is Involved in Neuroprotection Induced by Hypoxic Preconditioning / Lu N., Li X., Tan R., An J., Cai Z., Hu X., Wang F., Wang H., Lu C., Lu H. // *Journal of Molecular Neuroscience*. – 2018. – Vol. 66, No 2. – P. 238–250.
3. He C. Exercise-induced BCL2-regulated autophagy is required for muscle glucose homeostasis / He C., Bassik M.C., Moresi V., Sun K., Wei Y., Zou Z., An Z., Loh J., Fisher J., Sun Q., Korsmeyer S., Packer M., May H. I., Hill J. A., Virgin H. W., Gilpin C., Xiao G., Bassel-Duby R., Scherer P. E., Levine B. // *Nature*. – 2012. – Vol. 481, No 7382. – P. 511–515.

4. Liu K. Therapeutic effects of rapamycin on MPTP-induced Parkinsonism in mice / Liu K., Shi N., Sun Y., Zhang T., Sun X. // *Neurochemical Research*. – 2013. – Vol. 38, No 1. – P. 201–207.
5. Noda N. N. Mechanisms of autophagy / Noda N. N., Inagaki F. // *Annual Review of Biophysics*. – 2015. – Vol. 44. – P. 101–122.
6. Laplante M. mTOR signaling in growth control and disease / Laplante M., Sabatini D. // *Cell*. – 2012. – Vol. 149, No 2. – P. 274–293.
7. Chung K. W. The effects of calorie restriction on autophagy: role on aging intervention / Chung K. W., Chung H. Y. // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, No 12. – P. 2923.
8. Finckenberg P. Caloric restriction ameliorates angiotensin ii-induced mitochondrial remodeling and cardiac hypertrophy / Finckenberg P., Eriksson O., Baumann M., Merasto S., Lalowski M. M., Levijoki J., Haasio K., Kyto V., Muller D. N., Luft F. C., Oresic M., Mervaala E. // *Hypertension*. – 2011. – Vol. 59, No 1. – P. 76–84.
9. Lu D. L. Fasting enhances cold resistance in fish through stimulating lipid catabolism and autophagy / Lu D. L., Ma Q., Wang J., Li L. Y., Han S. L., Limbu S. M., Li D. L., Chen L. Q., Zhang M. L., Du Z. U. // *The journal of Physiology*. – 2019. – Vol. 597, No 6. – P. 1585–1603.
10. Zhang K. Food restriction-induced autophagy modulates degradation of mutant SOD1 in an amyotrophic lateral sclerosis mouse model / Zhang K., Shi P., An T., Wang Q., Wanf J., Li Z., Duan W., Li C., Guo Y. // *Brain Research*. – 2013. – Vol. 1519. – P. 112–119.
11. Brandt N. Exercise and exercise training-induced increase in autophagy markers in human skeletal muscle / Brandt N., Gunnarsson T. P., Bangsbo J., Pilegaard H. // *Physiological Reports*. – 2018. – Vol. 6, No 7. – P. 13651.
12. Ferhat M. Autophagy in adipose tissue physiology and pathophysiology / Ferhat M., Funai K., Boudina S. // *Antioxidants and redox signaling*. – 2019. – Vol. 31, No 6. – P. 487–501.
13. Mizushima N. Autophagy: renovation of cells and tissues / Mizushima N., Komatsu M. // *Cell*. – 2011. Vol. 147, No 4. – P. 728–741.

PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF AUTOPHAGY IN RESTRICTING CALORIE INTAKE AMONG MEN

Tkhakushinov I. A., Lysenkov S. P.

*Maikop State Technological University, Maikop, Russia
E-mail: u6pawka@mail.ru*

In a group of healthy men of different ages (18–75 years old), the level of autophagy marker – Beclin-1 in the initial state and after a course (on the 12th day) of limited (800–1200 kcal) calorie restriction (CR) was studied by the enzyme immunodetection. Body composition was determined using impedansometry. The degree of autophagy activation was assessed by the "delta" value – the difference between the initial concentration and after CR. Normally, men showed significant variability in the level of Beclin-1 from 6.14 to 844.78 pg / ml. As a result of the CR course, there was a significant decrease in body weight, soft lean, fat and muscle mass ($p < 0.0001$), as well as intracellular water ($p < 0.006$). As a result of the course of CR in the entire group, an increase of 2.0 times ($p < 0.01$) in the concentration of Beclin-1 was noted. At the same time, positive correlations were revealed in the entire study group between weight, body mass index ($r = 0.46$ and $r = 0.48$, respectively, $p < 0.05$), fat mass ($r = 0.62$; $p < 0.01$). The same patterns were observed in middle-aged people. A direct correlation was found in obese individuals between the level of Beclin-1 and the content of fat mass. In the group

of young people, positive correlations between the Beclin-1 delta and the delta of individual body composition indicators were revealed: muscle ($r = 0.96$; $p < 0.05$), soft lean ($r = 0.96$; $p < 0.05$) weight and total water ($r = 0.96$; $p < 0.05$). The loss of these body components was accompanied by a parallel decrease in the activity of Beclin-1. In old age, fat loss occurred in parallel with an increase in Beclin-1 activity ($r = -0.87$; $p < 0.05$), directly correlated with HDL ($r = 0.94$; $p < 0.01$) and inversely correlated with LDL ($r = -0.99$; $p < 0.01$) and total cholesterol ($r = -0.98$; $p < 0.01$). In young people, the opposite pattern was observed. Each age group had its own characteristics in the ratios of the studied parameters.

Keywords: autophagy, men, Beclin-1, calorie restriction, cholesterol, body composition.

References

1. Green D. R., Galluzzi L., Kremer G. Mitochondria and the Autophagy–Inflammation–Cell Death Axis in Organismal Aging. *Science*. **333**, 1109 (2011).
2. Lu N., Li X., Tan R., An J., Cai Z., Hu X., Wang F., Wang H., Lu C., Lu H. HIF-1 α /Beclin-1-Mediated Autophagy Is Involved in Neuroprotection Induced by Hypoxic Preconditioning. *Journal of Molecular Neuroscience*. **66**, 238 (2018).
3. He C., Bassik M. C., Moresi V., Sun K., Wei Y., Zou Z., An Z., Loh J., Fisher J., Sun Q., Korsmeyer S., Packer M., May H. I., Hill J. A., Virgin H. W., Gilpin C., Xiao G., Bassel-Duby R., Scherer P. E., Levine B. Exercise-induced BCL2-regulated autophagy is required for muscle glucose homeostasis. *Nature*. **481**, 511 (2012).
4. Liu K., Shi N., Sun Y., Zhang T., Sun X. Therapeutic effects of rapamycin on MPTP-induced Parkinsonism in mice. *Neurochemical Research*. **38**, 201 (2013).
5. Noda N. N., Inagaki F. Mechanisms of autophagy. *Annual Review of Biophysics*. **44**, 101 (2015).
6. Laplante M., Sabatini D. mTOR signaling in growth control and disease. *Cell*. **149**, 274 (2012).
7. Chung K. W., Chung H. Y. The effects of calorie restriction on autophagy: role on aging intervention. *Nutrients*. **11**, 2923 (2019).
8. Finckenberg P., Eriksson O., Baumann M., Merasto S., Lalowski M. M., Levijoki J., Haasio K., Kyto V., Muller D. N., Luft F. C., Oresic M., Mervaala E. Caloric restriction ameliorates angiotensin ii-induced mitochondrial remodeling and cardiac hypertrophy. *Hypertension*. **59**, 76 (2011).
9. Lu D.L., Ma Q., Wang J., Li L. Y., Han S. L., Limbu S. M., Li D. L., Chen L. Q., Zhang M. L., Du Z. U. Fasting enhances cold resistance in fish through stimulating lipid catabolism and autophagy. *The journal of Physiology*. **597**, 1585 (2019).
10. Zhang K., Shi P., An T., Wang Q., Wanf J., Li Z., Duan W., Li C., Guo Y. Food restriction-induced autophagy modulates degradation of mutant SOD1 in an amyotrophic lateral sclerosis mouse model. *Brain Research*. **1519**, 112 (2013).
11. Brandt N., Gunnarsson T. P., Bangsbo J., Pilegaard H. Exercise and exercise training-induced increase in autophagy markers in human skeletal muscle. *Physiological Reports*. **6**, 7 (2018).
12. Ferhat M., Funai K., Boudina S. Autophagy in adipose tissue physiology and pathophysiology. *Antioxidants and redox signaling*. **36** (2019).
13. Mizushima N., Komatsu M. Autophagy: renovation of cells and tissues. *Cell*. **147**, 728 (2011).

УДК 574.21

КЛЕН ОСТРОЛИСТНЫЙ (*ACER PLATANOIDES* L.) КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ БИОМОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Файзиев Д. Ш., Евсеева А. А.

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

Данная статья рассматривает экологический биомониторинг городской среды г. Калуги. В качестве объекта биоиндикации был выбран аборигенный вид клен остролистный (*Acer platanoides* L.). В ходе исследования нами была проведена оценка здоровья среды методом биоиндикации по значению флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного. Исходя из данных, собранных нами в 2018 и 2020 годах и параметров шкалы оценки стабильности развития дуба черешчатого (*Acer platanoides* L.), выявлено, что режим самоизоляции положительно повлиял на качество воздуха в городе. Низкие показатели здоровья среды обусловлены влиянием высокой транспортной нагрузки и промышленных предприятий на объекты исследования. На основании полученных результатов и их оценке по шкалам здоровья среды возможно проведение мероприятий по улучшению качества и экологической безопасности окружающей среды города Калуги.

Ключевые слова: биомониторинг, флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, здоровье среды, клен остролистный.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно усиливающееся воздействие на природную среду требует контроля ее состояния и обеспечения экологической безопасности для живых существ и людей [1]. Эта задача все чаще звучит как обеспечение здоровья окружающей среды и здоровья человека. Само состояние окружающей среды, а также различных видов живых существ, в том числе человека, является главной причиной обеспокоенности специалистов в сфере охраны окружающей среды [2]. При важности проведения оценки качества среды с применением различных подходов, приоритетным представляется именно биологическая оценка, непосредственно отражающая последствия разнообразных воздействий на биоту. Данная статья рассматривает экологический мониторинг по средствам использования растений как объектов оценки здоровья среды или как биомониторинг. Под термином «биомониторинг» понимается наблюдение за качеством и здоровьем окружающей среды, проводимое методами биоиндикации [3, 4].

В современной практике экологических исследований крайне редко встречаются случаи воздействия на окружающую среду только одного активного фактора, например шума или электромагнитного излучения, или только одного из химических веществ. В подавляющем большинстве случаев деятельности человека окружающая

среда подвергается одновременному воздействию сразу нескольких таких факторов. С этой связи биоиндикационные исследования становятся особенно актуальными [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе в качестве объекта биоиндикации используется представитель городского озеленения клен остролистный. Нами были обработаны материалы за 2018–2020 гг., собранные в городе Калуге, в рекреационных объектах города. Сбор проводился на площадках в 9 точках (рис. 1).

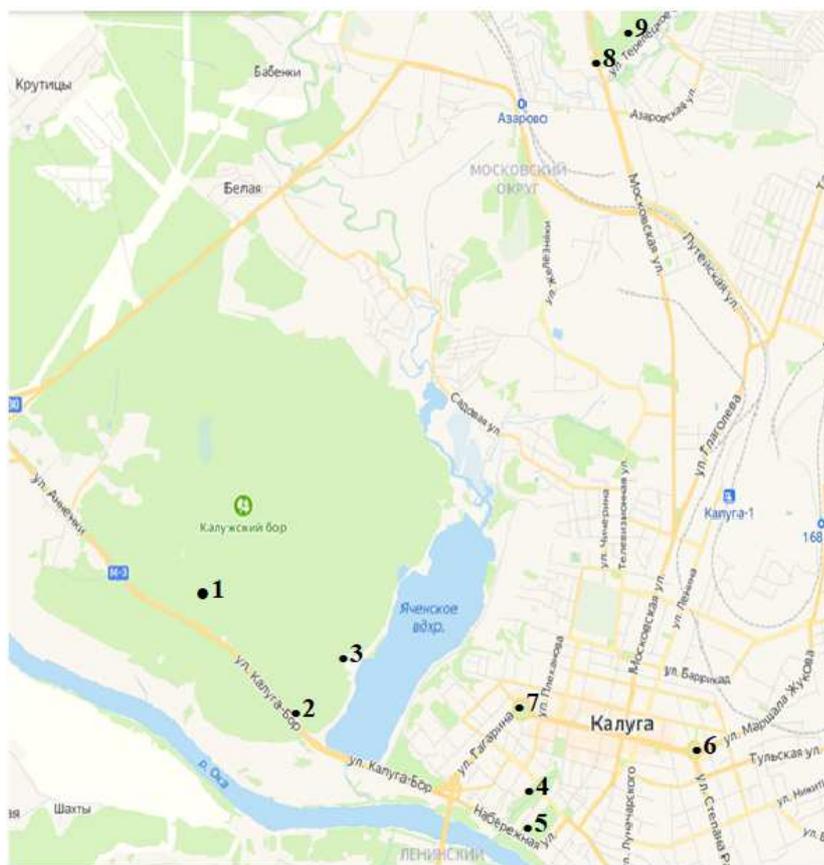


Рис. 1. Расположение точек исследования в городе Калуга:

1. Калужский бор (100м от трассы);
2. Калужский бор (Велопрокат);
3. Калужский бор (лесничество);
4. Березуйский овраг;
5. Парк культуры и отдыха;
6. Площадь Победы;
7. Сквер мира;
8. Усадьба Яновских (у дороги);
9. Усадьба Яновских (центральная часть).

Листья сканировались и измерялись при помощи пакета программ *Biondication tool kit*, разработанной лабораторией биоиндикации КГУ им. К. Э. Циолковского [6]. Исследуемые признаки представлены на рисунке 2.

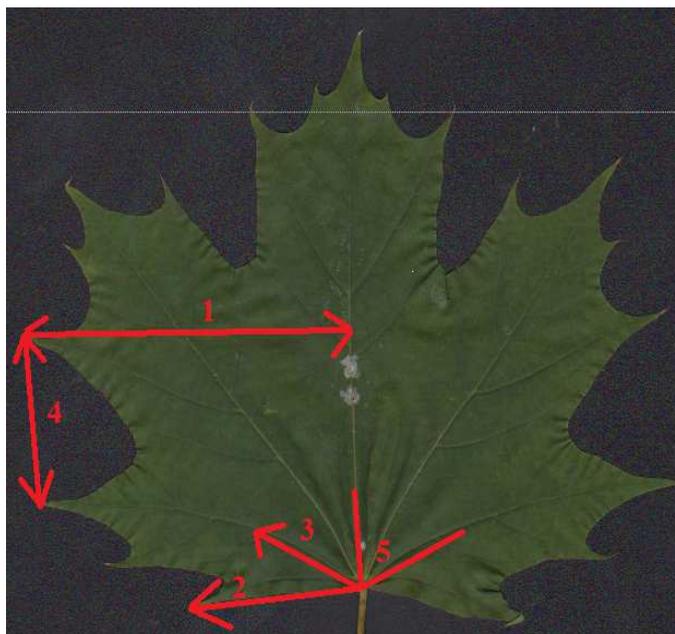


Рис. 2. Показатели измерения листовой пластинки Клёна остролистного:

- 1 показатель – Ширина левой и правой половинок листа
- 2 показатель – Расстояние от основания до конца жилки первого порядка, первой от основания листа
- 3 показатель – Расстояние между основаниями второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 4 показатель – Расстояние между концами второй жилки первого порядка и второй жилки второго порядка
- 5 показатель – Угол между главной жилкой и второй жилкой от основания листа жилкой первого порядка

Здоровье среды определялось по шкалам Б. М. Захарова и М. В. Кравченко [7, 8].

На ближайших к объектам крупных автодорогах велся учет авторанспорта, данные представлены на таблице 1.

Таблица 1.
Учет загруженности дорог автотранспортом в час вблизи объектов исследования

Наименование объекта / Количество автотранспорта	Площадь Победы	Сквер Мира	Березуйский овраг	Парк культуры и отдыха	Калужский городской бор	Парк усадьбы Яновских
Будни	383	395	341	352	319	337
Час пик в будни	723	748	683	698	620	628
Выходные	300	327	291	297	278	264

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов коэффициентов асимметрии листовой пластинки клена остролистного (*Acer platanoides L.*) представлены на графике (рис. 3).

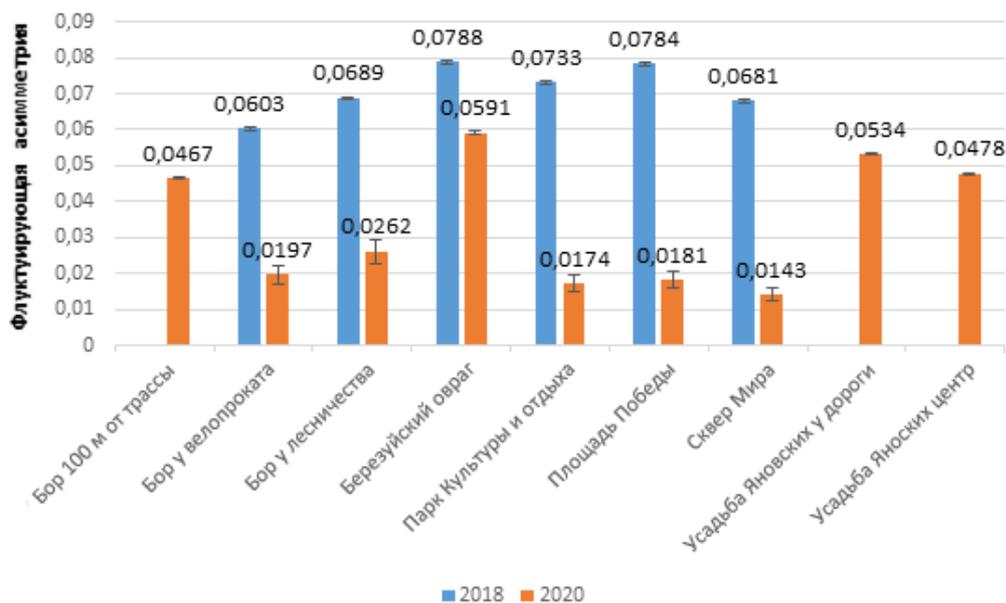


Рис. 3. Показатели коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластинок клена остролистного по 5 признакам (*Acer platanoides L.*).

Рассмотрим полученные результаты по годам наблюдений. В 2018 году максимальное значение флуктуирующей асимметрии наблюдается в Березуйском овраге. Такие показатели обусловлены тем, что вблизи оврага наблюдается высокая загруженность автотранспортом. Несмотря на то, что данный объект анализа имеет большие размеры, площадка исследований, расположенная под мостом, по которому проходит автодорога, подвергается наносимому ей антропогенному вреду. Минимальное значение наблюдается на площадке в Калужском городском бору у велопроката. Приближенное к минимальному значению отмечено на площадке, расположенной в сквере Мира. Деревья здесь расположены близко к автодороге с интенсивным движением. Площадка в Калужском городском бору имеет схожие значения с точкой исследования, находящейся в Парке культуры и отдыха. Эти две площадки находятся в объектах, имеющих большие размеры, позволяющие нивелировать неблагоприятные воздействия и увеличивающие восстановительную и регулятивную способности.

Теперь проанализируем результаты, которые получены нами в 2020 году (рис. 3). На рисунке видны значительные изменения на некоторых площадках сбора

по сравнению с 2018 годом. Показатель флуктуирующей асимметрии в Сквере Мира достигает минимального значения (0,0143). Результаты, полученные на Площади Победы и в Парке культуры и отдыха так же составляют минимальные значения. Относительно стабильными остались коэффициенты асимметрии, полученные в Березуйском овраге. Значительно отличаются показатели на площадках, расположенных в сквере Мира и на площади Победы. Их значения уменьшились по сравнению с 2018 г. Способствовать такой динамике, по нашему мнению, мог режим самоизоляции, который длился с апреля по май 2020 года. Автотранспорт, по данным министерства природных ресурсов и экологии Калужской области, является главным загрязнителем воздуха в городе Калуга. По данным регионального министерства природных ресурсов и экологии, загрязнение воздуха в г. Калуге в период самоизоляции в 2020 г. снизилось [9]. В атмосфере г. Калуги отмечается значительное снижение угарного газа и взвешенных частиц. На других площадках в 2020 году отмечается высокий уровень коэффициента асимметрии, например, в Усадьбе Яновских. Хотя в 2020 г. движение автотранспорта снизилось, эти площадки испытывают, предположительно, воздействие располагающейся здесь городской промышленной зоны.

Как уже было сказано, в 2018 г. минимум наблюдается на площадке, расположенной в Калужском Бору (у велопроката). По нашему мнению, это происходит из-за того, что Бор является крупным зеленым объектом, размеры которого позволяют нивелировать неблагоприятное воздействие, хоть площадка и находится вблизи автодороги. На площадках, расположенных в Калужском бору и Березуйском овраге наблюдаются более низкие значения в сезоне 2020 г. по сравнению с 2018 г. В целом в зеленых зонах, являющихся сохранившимися природными объектами в городской черте, в этом сезоне наблюдений отмечаются более низкие значения флуктуирующей асимметрии (площадки, расположенные в Калужском городском бору и в Березуйском овраге).

Чтобы оценить качество и здоровье городской среды была использована шкала В. М. Захарова (табл. 2), которая была разработана для работы с березой повислой, но также и используется для работы с другими биоиндикаторами, в нашем случае – это клен остролистный [7, 10].

Таблица 2.

Шкала оценки степени загрязнения среды по показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Acer platanoides* L. [7].

Балл	Значение показателя асимметрии
1	< 0,015
2	0,016 – 0,025
3	0,026 – 0,035
4	0,036 – 0,045
5	0,046 – 0,055
Критическое состояние	> 0,056

Проанализировав данную шкалу, можно сказать, что по общему состоянию и по всем признакам 2018 год был менее благоприятный, чем 2020 год. Почти все показатели в 2020 г. не превышают отметки в 0,025. Это говорит о том, что состояние окружающей среды в данный период склонно к небольшим отклонениям от нормы, в то время как в 2018 г. состояние среды, исходя из полученных нами показателей, оценивается как критическое:

1. Калужский бор (Велопрокат) – 0,0603 – критическое состояние
2. Калужский бор (лесничество) – 0,0689 – критическое состояние
3. Березуйский овраг – 0,0788 – критическое состояние
4. Парк культуры и отдыха – 0,0733 – критическое состояние
5. Площадь Победы – 0,0784 – критическое состояние
6. Сквер мира – 0,0681 – критическое состояние

В 2020 г. же ситуация была иная. В связи с введенным режимом самоизоляции, значительно уменьшилось число транспорта на дорогах, что привело к меньшему воздействию отходящих газов внутреннего сгорания на атмосферный воздух, что и привело к меньшим значениям показателей флуктуирующей асимметрии:

1. Калужский бор (100м от трассы) – 0,0467 – 5 баллов
2. Калужский бор (Велопрокат) – 0,0197 – 2 балла
3. Калужский бор (лесничество) – 0,0262 – 3 балла
4. Березуйский овраг – 0,0591 – критическое состояние
5. Парк культуры и отдыха – 0,0174 – 2 балла
6. Площадь Победы – 0,0181 – 2 балла
7. Сквер мира – 0,0143 – 1 балл (условная норма)
8. Усадьба Яновских (у дороги) – 0,0534 – 5 баллов
9. Усадьба Яновских (центральная часть) – 0,0478 – 5 баллов

На всех площадках, за исключением Березуйского оврага, наблюдается снижение показателей, всё что раньше находилось в критическом состоянии, сейчас имеет другие значения. Такие показатели обусловлены уменьшением автотранспорта в связи с режимом самоизоляции, который был установлен в России. На площадке оврага улучшений не выявлено, так как большая территория не успела восстановиться, также площадка находится вблизи центра города и уменьшение автотранспорта здесь не значительно сказалось на показателях флуктуирующей асимметрии.

Кроме того, оценка здоровья среды проводилась и по шкале степени загрязнения среды по величине показателя стабильности развития [8] (табл. 3).

Показатели 2018 г.:

1. Калужский бор (Велопрокат) – 0,0603 – 5 баллов
2. Калужский бор (лесничество) – 0,0689 – 5 баллов
3. Березуйский овраг – 0,0788 – 5 баллов
4. Парк культуры и отдыха – 0,0733 – 5 баллов
5. Площадь Победы – 0,0784 – критическое состояние
6. Сквер мира – 0,0681 – 5 баллов

Таблица 3.

**Шкала оценки степени загрязнения среды по величине показателя
стабильности развития**

Балл	Величина показателя стабильности развития
1	< 0,040
2	0,040 – 0,044
3	0,045 – 0,049
4	0,050 – 0,054
5	>0,054

Показатели 2020г.:

1. Калужский бор (100м от трассы) – 0,0467 – 3 балла
2. Калужский бор (Велопрокат) – 0,0197 – 1 балл (условная норма)
3. Калужский бор (лесничество) – 0,0262 – 1 балл (условная норма)
4. Березуйский овраг – 0,0591 – 5 баллов
5. Парк культуры и отдыха – 0,0174 – 1 балл (условная норма)
6. Площадь Победы – 0,0181 – 1 балл (условная норма)
7. Сквер мира – 0,0143 – 1 балл (условная норма)
8. Усадьба Яновских (у дороги) – 0,0534 – 5 баллов
9. Усадьба Яновских (центральная часть) – 0,0478 – 3 балла

Почти все площадки имеют низкие показатели, что говорит о том, что режим самоизоляции положительно повлиял на окружающую среду города Калуга, в частности уменьшение количества автотранспорта на дорогах поспособствовало улучшению экологической ситуации. Усадьба Яновских находится вблизи промзоны и по этой причине значение по данной шкале выше, чем на других площадках в 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведен анализ полученных показателей коэффициента флуктуирующей асимметрии листовой пластинки клена остролистного
2. Выполнена сравнительная оценка здоровья среды города Калуги по стабильности развития *Acer platanoides* L.
3. Проведен биомониторинг здоровья среды по результатам исследования за 2018–2020 гг.
4. Выявлена эффективность использования клена остролистного как вида-индикатора здоровья среды по асимметрии его листовых пластинок.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция от 09.03.2021) [Электронный ресурс] // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ дата обращения: 28. 04. 2021.

2. Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН [Электронный ресурс] // URL: [Proceedings_Biodiagnostics2016_1.pdf \(msu.ru\)](#) (дата обращения: 12. 12. 2021).
3. Стрельцов А. Б. [Текст] Очерк экологии города Калуги: Справочно-учебное пособие / Стрельцов А. Б., Логинов А. А., Лыков И. Н., Коротких Н. В. – Калуга, 2000. – С. 13–150.
4. Биоиндикация. [Электронный ресурс] // URL: [\(uchebnikfree.com\)](#) дата обращения 28. 04. 2021.
5. Ляшенко О.А, Биоиндикация И биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие/ О.А Ляшенко // СПб ГТУРП. – СПб. – 2012. – 67 с.
6. Стрельцов А. Б. Здоровье среды (школьный практикум). Региональное учебно-методическое пособие / А. Б. Стрельцов [и др.]. – Калуга: Издательство КГПУ им. К. Э. Циолковского, 2006. – 40 с.
7. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки. / Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
8. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, Ю. А. Буйлов, М. В. Кравченко. – Москва : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
9. Официальный портал органов власти Калужской области [Электронный ресурс] // URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37 дата обращения 21.04.21.
10. Захаров М. Б. Использование клёна остролистного (*Acer platanoides L.*) в качестве индикатора здоровья среды городских рекреационных зон (на примере Калуги и Боровска) / М. Б. Захаров, А. А. Евсева // Вестник Калужского университета. – 2019. – №2. – С. 90–97.

HOLLY MAPLE (*ACER PLATANOIDES L.*) AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN ENVIRONMENTAL BIOMONITORING

Fayziev D. Sh., Evseva A. A.

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

This article considers environmental monitoring by means of using plants as objects of environmental health assessment or biomonitoring. The term "biomonitoring" refers to the monitoring of the quality, "health" of the environment, its deviations from the balanced optimum, carried out by bioindication methods.

In the modern practice of environmental research, it is extremely rare to find cases of environmental impact of only one active factor, for example, noise or electromagnetic radiation, or only one of the chemicals. In the vast majority of cases of human activity, the environment is exposed to the simultaneous influence of several such factors at once. In this regard, bioindication studies are becoming especially relevant.

In this work, as an object of bioindication, plant objects of urban landscaping are used: holly maple. We have processed materials for 2018–2020 collected in the city of Kaluga, in recreational facilities of the city.

The maximum value is observed in the Berezuisky ravine in 2018. Such values are due to the fact that there is a large traffic congestion in the vicinity of the ravine. The minimum value is observed at the site in the City Forest near the bike rental, as well as an approximate value at the site located in the Mira Square. The trees in this place are located close to a highway with heavy traffic.

In 2020, the maximum value of the indicators of fluctuating asymmetry is noted in the World Square. The results obtained at Victory Square and in the Park of Culture and

Recreation are the minimum values. The indicators in the Berezuisky ravine remained relatively stable. The indicators on the sites located in the Peace Square and on Victory Square differ significantly. Their values have decreased compared to 2018, and, in our opinion, the self-isolation regime, which lasted from April to May 2020, could contribute to such dynamics.

To assess the quality and health of the urban environment, the V. M. Zakharov scale was used.

Having analyzed this scale, we can say that according to the general state and by all signs, 2018 was less favorable than 2020. Almost all indicators in 2020 do not exceed the level of 0.025, which indicates that the state of the environment in this period is prone to small deviations from the norm, while in 2018 the state of the environment, based on the indicators, is assessed as critical. In 2020, the situation was different. Almost all sites have low indicators, which indicates that the self-isolation regime has had a positive impact on the environment of the city of Kaluga, in particular, reducing the number of vehicles on the roads has contributed to improving the environmental situation. The Yanovsky estate is located near the industrial zone and for this reason the value on this scale is higher than at other sites in 2020.

Keywords: biomonitoring, fluctuating asymmetry, developmental stability, environmental health, birch maple.

References

1. Federal Law "On Environmental Protection" of 10.01.2002 N 7-FZ (latest version from 09.03.2021) [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823. Accessed: 14.04.2020.
2. Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov Institute of Ecology and Evolution named after A. N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences [Electronic resource] URL: [Proceedings_Biodiagnostics2016_1.pdf \(msu.ru\)](#). Accessed 12.12.2021.
3. Streltsov A. B., Loginov A. A., Lykov I. N., Korotkov N. V. *An essay on the ecology of the city of Kaluga: A reference and training manual*, 13 (Kaluga, 2000).
4. *Bioindication*. [Electronic resource] URL: [\(uchebnikfree.com\)](#) Accessed 28.04.2021.
5. Lyashenko O. A., *Bioindication and biotesting in environmental protection: a textbook*, 67 (SPb GTURP, St. Petersburg, 2012).
6. Streltsov A. B. *Health of the environment (school practice). Regional educational and methodological manual*, 40 (Publishing House of KSPU named after K. E. Tsiolkovsky, Kaluga, 2006.).
7. Zakharov V. M., Baranov A. S., Borisov V. I., etc. *Environmental health: assessment methodology*, 318 (Center for Environmental Policy of Russia, Moscow, 2000).
8. Zakharov V. M. *Environmental health: assessment methodology Moscow*, 68 (Center for Environmental Policy of Russia, Moscow, 2000).
9. Official portal of the Kaluga region authorities [Electronic resource]. URL: https://admoblkaluga.ru/sub/ecology/news/?PAGEN_1=37. Accessed 21.04.21.
10. Zakharov M. B., Evseeva A. A. The use of holly maple (*Acer platanoides* L.) as an indicator of the health of the environment of urban recreational zones (on the example of Kaluga and Borovsk), *Bulletin of the Kaluga University*, 2, 90 (2019).

УДК 615.212.3:591.044

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-239-249

ЧАСТОТНО-АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНЫХ БИОПОТЕНЦИАЛОВ САЗ ЗОНЫ ГИППОКАМПА ПРИ ДЕЙСТВИИ САЛИЦИЛАТА КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ

Хусаинов Д. Р., Чуян Е. Н., Коренюк И. И., Аблякимова В. Л.

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

Исследованы нейротропные эффекты салицилата кобальта и никеля при перфузии срезов гиппокампа крыс растворами этих солей в концентрациях 10^{-2} М, 10^{-3} М, 10^{-4} М и 10^{-6} М. В концентрации 10^{-2} М обе соли оказывали выраженное угнетающее влияние. Выяснено, что в концентрации салицилата кобальта 10^{-3} М внеклеточные суммарные гигантские деполяризующие биопотенциалы САЗ зоны гиппокампа крыс выражено угнетаются, в концентрации 10^{-4} М проявляется активирующий эффект, в 10^{-6} М влияние проявляется слабо. В случае перфузии среза растворами салицилата никеля наблюдалось угнетение высокоамплитудного диапазона потенциалов начиная с 60+ мкВ в трех концентрациях 10^{-3} М, 10^{-4} М и 10^{-6} М.

При сравнении результатов настоящей работы с предыдущими по влиянию салициловой и ацетилсалициловой кислот можно говорить об изменении направленности эффекта в случае салицилата кобальта и только ослаблении угнетающего эффекта у салицилата никеля. Также, направленность нейротропного влияния салицилата кобальта, выявленная на срезах гиппокампа совпадает с эффектами, описанными у моллюсков.

Ключевые слова: салицилат кобальта, салицилат никеля, биоэлектрогенез, гиппокамп.

ВВЕДЕНИЕ

В середине 90-х годов у аспирина была обнаружена способность оказывать антидепрессантное действие, что моментально привлекло внимание научного сообщества [1]. В дальнейших исследованиях [2–4] были получены убедительные доказательства антидепрессантного и анксиолитического действия этого препарата и его производных. Показано, что антидепрессантное влияние аспирина связано с его противовоспалительным действием [5]. Основным «камнем преткновения» является тот факт, что аспирин оказывает заметное антидепрессантное воздействие в больших дозах или при длительном применении в привычных терапевтических [6]. В связи с этим ведется широкий поиск новых перспективных соединений и особое внимание уделяется различным модификациям молекул родоначальниц [7]. Вне всякого сомнения, любое психоактивное действие имеет прямое или опосредованное влияние на нервную систему и ее структурные элементы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для приготовления *in vitro* препаратов переживающих срезов гиппокампа использовались лабораторные крысы линии Wistar возрастом 14–16 месяцев. После декапитации мозг животного извлекался и помещался в охлажденный (4° С) раствор искусственной цереброспинальной жидкости (aCSF) следующего состава (в mM): NaCl 126, KCl 3.5, CaCl₂ 2.0, MgCl₂ 1.3, NaHCO₃ 25, NaH₂PO₄ 1.2, глюкоза 11 (pH 7.4), насыщенный кислородом (95 %) и углекислым газом (5 %). Далее удалялся мозжечок и приготавливались на микротоме Ci 7000 SMZ-2 Campden Instruments горизонтальные срезы гиппокампа толщиной 400 мкм. Полученные срезы рассекались на две полусферы и готовые препараты помещаются в оксигенированный (95 % O₂/5 % CO₂) раствор aCSF, где выдерживаются при комнатной температуре (20–22 °С) около часа перед непосредственным использованием в эксперименте.

Для регистрации биопотенциалов препарат размещался в специализированной ванночке непрерывным потоком (2 мл/мин) оксигенируемого раствора CSF. Непосредственная регистрация внеклеточных суммарных биопотенциалов осуществлялась с помощью металлического (хлор-серебряного) электрода соединенного с усилителем Model 2400 A-MSystem, оцифровка сигнала – аналогово-цифровым преобразователем CED 1401 Micro3. Температура омывающего раствора поддерживалась на уровне 37 °С термоконтроллером TC-324C. Внеклеточная сетевая активность регистрировалась в СА3 области гиппокампа. В целом методически эксперимент соответствовал общепринятым подходам [8], но мы подвергли анализу наиболее выразительные (по сути, гигантские деполяризующие потенциалы), разделив их на пять амплитудных категорий: 20–40 мкВ, 41–60 мкВ, 61–80 мкВ, 81–100 мкВ и 100+ мкВ.

Исследуемые соли перфузировались в концентрациях 10⁻² М, 10⁻³ М, 10⁻⁴ М и 10⁻⁶ М, непосредственно перфузия раствором вещества длилась 10 минут, далее следовало тридцатиминутное отмывание. Для каждой концентрации каждой соли использовано 8 полусфер переживающих срезов гиппокампа. Запись и анализ нейрограмм осуществлялись с помощью программного пакета Spike2. Статистический анализ осуществлялся с использованием критерия Тьюки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании при внеклеточном отведении регистрировались суммарные биопотенциалы СА3 зоны гиппокампа крыс при перфузии срезов растворами салицилатов кобальта и никеля в трех концентрациях 10⁻² М, 10⁻³ М, 10⁻⁴ М и 10⁻⁶ М. В самом начале описания результатов исследования отметим, что при перфузии срезов раствором солей в концентрации 10⁻² М наблюдалось существенное угнетение суммарных биопотенциалов с полным исчезновением диапазона амплитуд, указанного в разделе «Материалы и методы». В связи с этим, в разделе результатов мы более не будем уделять внимание описанию эффектов этой концентрации.

Начнем рассмотрение полученных результатов с описания эффектов салицилата кобальта. В концентрации 10⁻³ М указанная соль выраженно подавляла

генерацию биопотенциалов, вызывая значительное снижение их средней амплитуды (рис. 1 А) от $46 \pm 1,56$ мкВ до $29,6 \pm 1,92$ мкВ ($p \leq 0,01$) через 10 минут от начала перфузии. После 30 минут отмывания средняя амплитуда биопотенциалов не восстанавливалась и составляла $34 \pm 1,87$ мкВ ($p \leq 0,01$).

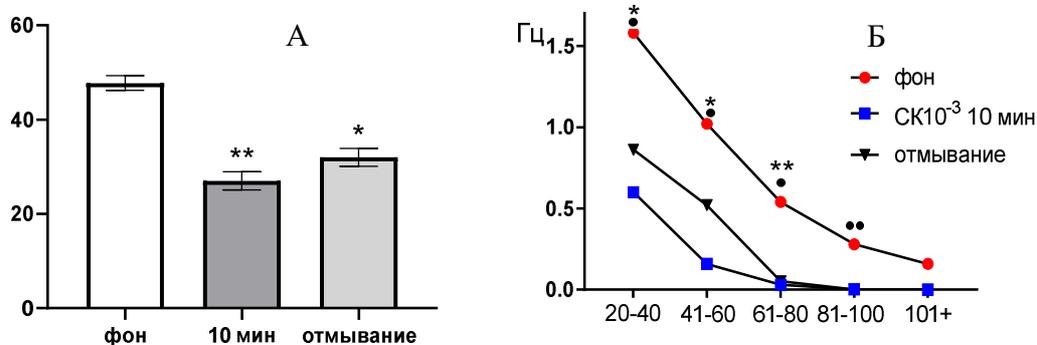


Рис. 1. Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-3} М.

Примечания: * – отличия показателя от фонового уровня при $p \leq 0,05$, ** – отличия показателя от фонового уровня при $p \leq 0,01$, • – отличия показателя от его значения после 30-ти минутного отмывания при $p \leq 0,05$, ** – отличия показателя от его значения после 30-ти минутного отмывания при $p \leq 0,01$, СК10⁻³ 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-3} М, отмывание – значение показателя после 30-ти минутного отмывания.

При рассмотрении частотно амплитудных характеристик биопотенциалов видно, что в фоне выделяются пять типов потенциалов с амплитудой 20–40 мкВ, 41–60 мкВ, 61–80 мкВ, 81–100 мкВ и более 100 мкВ (рис. 1 Б). Частоты этих потенциалов распределились следующим образом: $1,58 \pm 0,2$ Гц, $1,02 \pm 0,2$ Гц, $0,54 \pm 0,08$ Гц, $0,28 \pm 0,051$ Гц, $0,16 \pm 0,04$ Гц. Через 10 минут перфузии активность среза существенно подавляется и полностью исчезли суммарные биопотенциалы с амплитудой более 80 мкВ. Сохранившийся амплитудный диапазон существенно снижался по частотной характеристике в отношении фоновых значений. Так, биопотенциалы с амплитудой 61–80 мкВ генерировались с частотой $0,03 \pm 0,018$ Гц ($p \leq 0,01$), с амплитудой 41–60 мкВ – $0,16 \pm 0,05$ Гц ($p \leq 0,05$), с амплитудой 20–40 мкВ – $0,6 \pm 0,11$ Гц ($p \leq 0,05$).

При отмывании наблюдалось лишь частичное восстановление, при котором на 30 минуте амплитудные и частотные показатели биоэлектрической активности не достигали достоверного уровня отличий от перфузионных значений.

В концентрации салицилата кобальта 10^{-4} М к десятой минуте перфузии наблюдалось увеличение средней амплитуды суммарных биопотенциалов от $44,2 \pm 1,84$ мкВ до $52,4 \pm 1,24$ мкВ ($p \leq 0,05$, рис. 2 А). В частотно-амплитудном

распределении суммарных потенциалов происходило снижение вклада низкоамплитудных и увеличение доли высокоамплитудных. Частота генерации биопотенциалов диапазона 20–40 мкВ снижалась от $1,58 \pm 0,31$ Гц до $1,28 \pm 0,12$ Гц ($p \leq 0,05$); диапазона 81–100 мкВ увеличивалась от $0,22 \pm 0,07$ Гц до $0,48 \pm 0,12$ Гц ($p \leq 0,05$) к 10-й минуте от начала перфузии (рис. 2 Б). После 30 минут отмывания все показатели биоэлектрической активности возвращались к фоновому уровню.

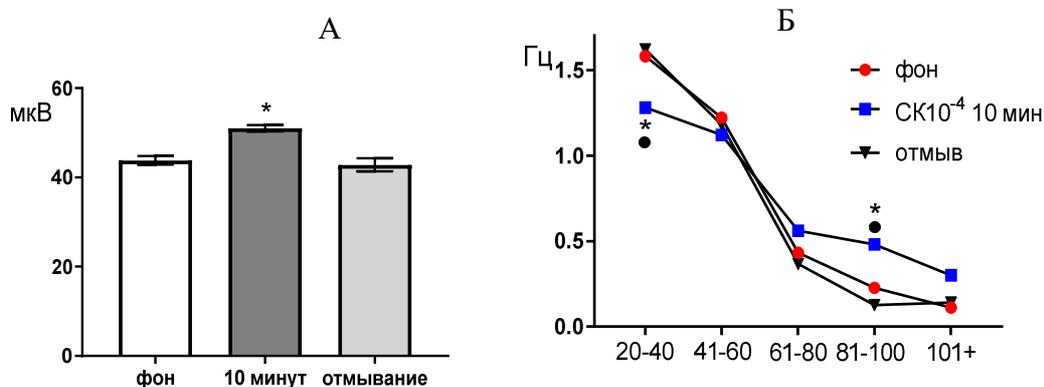


Рис. 2. Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-4} М.

Примечания: СК10⁻⁴ 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-4} М; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Салицилат кобальта в концентрации 10^{-6} М не вызывал достоверных изменений средней амплитуды суммарных биопотенциалов гиппокампа СА3 зоны (рис. 3 А) и практически не изменял частотно амплитудную характеристику распределения суммарных биопотенциалов, за исключением диапазона 61–80 мкВ (рис. 3 Б). Суммарные биопотенциалы указанного амплитудного диапазона к десятой минуте перфузии среза раствором салицилата кобальта (10^{-6} М) начинали генерироваться с возросшей частотой: от $0,32 \pm 0,2$ Гц до $0,72 \pm 0,3$ Гц ($p \leq 0,05$).

После 30 минут отмывания все показатели биоэлектрической активности возвращались к фоновому уровню.

Нейротропные эффекты салицилата никеля.

Итак, в концентрации 10^{-3} М салицилат никеля, в целом, вызывал угнетение суммарной биоэлектрической активности гиппокампа крыс с возрастанием выраженности низкоамплитудного диапазона (рис. 4 А, Б). К десятой минуте перфузии происходило выраженное снижение средней амплитуды суммарных биопотенциалов от $50,5 \pm 1,4$ мкВ до $24,6 \pm 1,3$ мкВ ($p \leq 0,001$, рис. 4 А), суммарные потенциалы с амплитудой более 80 мкВ полностью подавлялись. Сохранившиеся амплитудные диапазоны изменяли частотную характеристику следующим образом:

ЧАСТОТНО-АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНЫХ ...

61–80 мкВ – от $0,64 \pm 0,1$ Гц до $0,028 \pm 0,017$ Гц ($p \leq 0,001$); 41–60 мкВ – от $1,16 \pm 0,2$ Гц до $0,38 \pm 0,08$ Гц ($p \leq 0,01$); диапазон 20–40 мкВ, наоборот, возрастал от $1,32 \pm 0,2$ Гц до $2,23 \pm 0,54$ Гц ($p \leq 0,001$, рис. 4 Б).

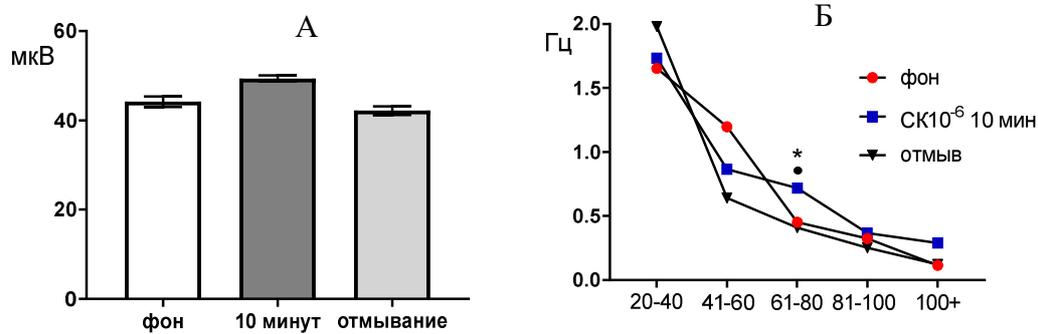


Рис. 3 Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-6} М.

Примечания: СК10⁻⁶ 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата кобальта в концентрации 10^{-6} М; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

После 30 минутного отмывания генерация биопотенциалов демонстрировала картину, совпадающую с таковой, которая наблюдалась на 10-той минуте перфузии салицилата никеля.

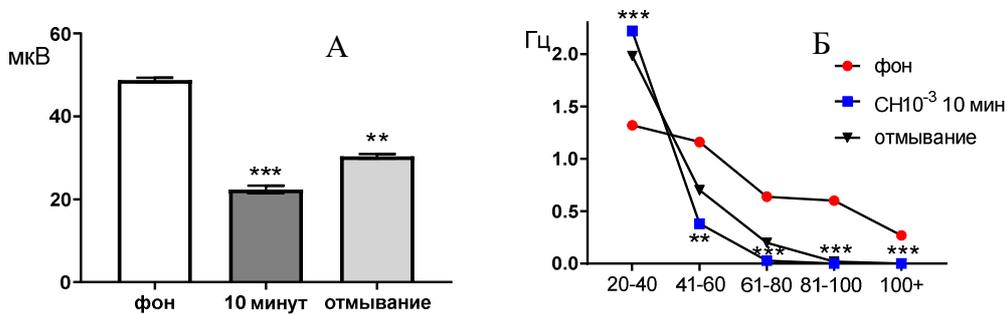


Рис. 4. Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-3} М.

Примечания: СН10⁻³ 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-3} М, *** – отличия показателя от фонового уровня при $p \leq 0,001$; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

При перфузии срезов раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-4} М угнетающее действие сохранялось, но становилось менее выраженным. Так через 10 минут перфузии средняя амплитуда суммарных потенциалов снижалась от $20,8 \pm 1,8$ мкВ до $33,1 \pm 2,24$ при $p \leq 0,001$. После 30 минут отмывания амплитуда возрастала до $43,2 \pm 1,53$ мкВ, но не отличалась от перфузионного значения и оставалась достоверно меньшей по сравнению с фоном при $p \leq 0,05$ (рис. 5 А).

Частотно-амплитудное распределение суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-4} М также демонстрировало существенное угнетающее действие примененного химического агента. К десятой минуте перфузии исчезали потенциалы наибольшего амплитудного диапазона 101+, частота генерации потенциалов двух диапазонов 61–80 мкВ и 81–100 мкВ снижалась от $0,77 \pm 0,09$ Гц до $0,48 \pm 0,11$ Гц ($p \leq 0,01$) и от $0,5 \pm 0,06$ Гц до $0,2 \pm 0,08$ Гц ($p \leq 0,01$), соответственно (рис. 5 Б). Частота генерации потенциалов амплитудного диапазона 41–60 мкВ существенно не изменялась, а частота потенциалов 20–40 мкВ возрастала от $1,61 \pm 0,1$ Гц до $2,02 \pm 0,28$ Гц ($p \leq 0,05$).

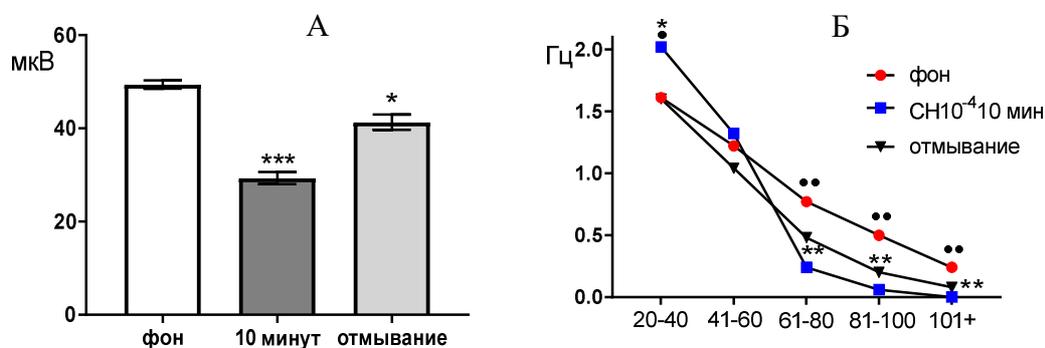


Рис. 5. Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-4} М.

Примечания: СН 10^{-4} 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-4} М; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

После 30-ти минутного отмывания средняя амплитуда биопотенциалов оставалась сниженной, частотные характеристики потенциалов амплитудных диапазонов 20–40 мкВ и 41–60 мкВ не отличались от фоновых значений, а диапазонов 61–80 мкВ, 81–100 мкВ и 101+ мкВ сохранялись на достоверно более низком уровне по сравнению с фоном при $p \leq 0,01$ (рис. 5 Б).

При перфузии срезов раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-6} М угнетающее действие, все еще, проявлялось достаточно выражено (рис. 6 А, Б). Так, через 10 минут перфузии средняя амплитуда суммарных потенциалов составляла $38,1 \pm 2,7$ мкВ при $p \leq 0,01$ по сравнению с фоновым значением $49,7 \pm 1,9$ мкВ. После отмывания средняя амплитуда суммарных потенциалов

составляла $48,4 \pm 2,6$ мкВ и не достигался достоверный уровень отличий как от фоновых значений, так и от перфузионных (рис. 6 А).

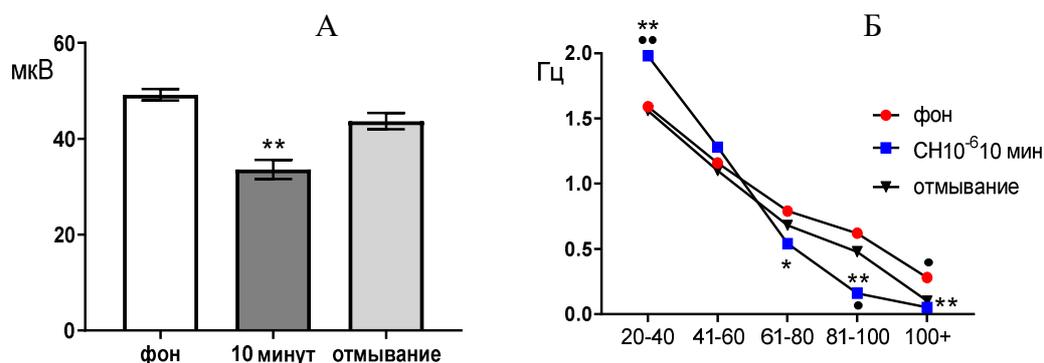


Рис. 6. Значение средней амплитуды (А) и частотно-амплитудное распределение (Б) суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-6} М.

Примечания: СН10⁻⁶ 10 мин – значение показателя на десятой минуте перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-6} М; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.

Частотно-амплитудное (рис. 6 Б) распределение суммарных биопотенциалов СА3 зоны гиппокампа при перфузии среза раствором салицилата никеля в концентрации 10^{-6} М выглядело следующим образом: к 10 минуте перфузии частота потенциалов амплитудного диапазона 20–40 мкВ возрастала от $1,59 \pm 0,1$ Гц до $1,98 \pm 0,15$ Гц ($p \leq 0,01$); 41–60 мкВ – не отличалась от фоновых значений; 61–80 мкВ – снижалась от $0,79 \pm 0,05$ Гц до $0,54 \pm 0,15$ Гц ($p \leq 0,05$); 81–100 – от $0,62 \pm 0,08$ Гц до $0,16 \pm 0,05$ Гц ($p \leq 0,01$) и 101+ – от $0,28 \pm 0,03$ Гц до $0,1 \pm 0,02$ Гц ($p \leq 0,01$).

Результаты настоящего исследования убедительно демонстрируют, что образование комплексных солей ацетилсалициловой кислоты с двухвалентными металлами кобальтом и никелем приводит к изменению нейротропных эффектов с разной степенью выраженности. В случае салицилата никеля наблюдается снижение выраженности угнетающего нейротропного эффекта по сравнению с ацетилсалициловой и салициловой кислотами [16]. А в случае с салицилатом кобальта в концентрации 10^{-4} М проявляется активационный эффект. Считаем, что это связано с влиянием всего комплексона, т.к. для салицилата кобальта показана высокая степень устойчивости, особенно в водном растворе [10]. И эта соль должна оставаться достаточно стабильной. В связи с этим закономерно предполагать, что салицилат кобальта способен запускать иные процессы по сравнению с кислотами и, возможно, механизм его действия связан с системой ЦОГ менее выраженно. Наблюдаемый активационный эффект может быть связан с непосредственным стимуляционным влиянием на нервную клетку и/или результатом синхронизации возбуждения в нейронных сетях.

Следует отметить, что выявленные в настоящей работе нейротропные эффекты салицилата кобальта по своей направленности совпадают с влиянием этой соли на функционирование нейронов подглоточного комплекса ганглиев виноградной улитки [10]. Это указывает на однотипность механизмов влияния указанной соли на нервную ткань беспозвоночных и позвоночных животных.

Для салицилата никеля показано лишь ослабление угнетающего действия по сравнению с кислотами предшественницами, возможно, константа устойчивости этой соли не высока и происходит ее заметная диссоциация. В результате чего высвободившиеся остатки ацетилсалициловой кислоты будут блокировать ЦОГ, что запустит механизм нейротропного влияния близкий к воздействию растворов солей, эффекты которых описаны ранее [16]. Вклад ионов никеля будет незначительным, т.к. его массовая доля в молекуле соли мала.

С позиции ионных механизмов считаем, что угнетение исследованными солями генерации суммарных биопотенциалов наиболее вероятносвязано с подавлением входящего натриевого тока. А стимулирующий эффект салицилата кобальта в концентрации 10^{-4} М, напротив, с его стимуляцией (облегчением). Также, описанные эффекты могут реализовываться в результате модуляции синаптического взаимодействия в нейронных сетях. Выяснение этих биофизических механизмов является приоритетной задачей наших дальнейших исследований. А также, остается открытым важнейший вопрос о возможном изменении эффектов этих солей при различном вводе веществ в организм: пероральном, внутримышечном, внутривенном и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Салицилат никеля оказывает однонаправленное угнетающее действие на сетевой биоэлектrogenез нейронов гиппокампа крыс с прямопропорциональным возрастанием эффекта при увеличении его концентрации.

Салицилат кобальта в высоких концентрациях оказывает угнетающее воздействие, а в диапазоне около 10^{-4} М способен активировать (синхронизировать) биоэлектrogenез нейронов гиппокампа крыс.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика» в рамках гранта РФФИ № 20-33-70142.

Список литературы

1. Ketterer M. W. Is aspirin, as used for antithrombosis, an emotion-modulating agent? / Ketterer M. W., Brymer J., Rhoads K., Kraft P., Lovallo W. R. // Journal of psychosomatic research. – 1996. – Т. 40. – №. 1. – С. 53–58.
2. Brunello N. Acetylsalicylic acid accelerates the antidepressant effect of fluoxetine in the chronic escape deficit model of depression / N. Brunello, S. Alboni, G. Capone // International clinical psychopharmacology. – 2006. – Vol. 21, № 4. – P. 219–225.
3. Almeida O. P. Aspirin decreases the risk of depression in older men with high plasma homocysteine / O. P. Almeida, L. Flicker, B. B. Yeap [et al.] // Translational psychiatry. – 2012. – Vol. 2, № 8. – P. e151.

4. Guan X. Effects of aspirin on immobile behavior and endocrine and immune changes in the forced swimming test: comparison to fluoxetine and imipramine / X. Guan, F. Shao, X. Xie [et al.] // Pharmacology Biochemistry and Behavior. – 2014. – Vol. 124. – P. 361–366.
5. Bayram F. The Importance of the Structural Similarity of Drugs Used for Depression and Inflammation, Two Comorbid Diseases / F. Bayram, R. Reis, B. Tunçer & H. Sipahi // Current topics in medicinal chemistry. – 2018. – 18(16). – P. 1416–1421
6. Алёхин Е. К. Аспирин: новая жизнь старого лекарства / Е. К. Алёхин // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – Т. 5, № 7. – С. 85–90.
7. Sokolik J. Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimethylsalicylates and their equimolar mixture / Sokolik J., Tumova I., Blahova M. [et al.] // Acta Facult. Farm. Univ. Comenianae. – 2006. – V. 53. – P. 224–228.
8. Курмашова Е. Д. Влияние гомоцистеина и его производных на спонтанную сетевую активность в гиппокампе новорожденных крысят / Курмашова Е. Д., Гатаулина Э. Д., Зефилов А. Л. и др. // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2019. – 105(10). – С. 1236–1246.
9. Руководство по иммунофармакологии: Пер. сангл. / Под ред. М.М. Дейла, Дж. К. Формена. – М.: Медицина. – 1998. – 332 с.
10. Korenyuk I. I. Effects of salicylic acid and its salts on electrical activity of neurons of *Helix albescens* / Korenyuk I. I., Husainov D. R., Shulgin V. F. // Neurophysiology. – 2005. – V. 37. – P. 127–134
11. Cheretaev I. V. ATP-dependent and calcium mechanisms of the effects of salicylates on electrical potentials in neurons in the mollusk *Helix Albescens* / Cheretaev I. V., Korenyuk I. I., Khusainov D. R., Gamma T. V., Kolotilova O. I., Nozdrachev A. D. // Neuroscience and behavioral physiology. – 2016. – Vol. 46, Iss. 6. – P. 644–651.
12. Машковский М. Д. Лекарственные средства: 16 изд. в 2 т. / М. Д. Машковский. – М.: Изд-во Новая Волна, 2020. – 1216 с.
13. Hadley K. B. The essentiality of arachidonic acid in infant development. / Hadley, K. B., Ryan, A. S., Forsyth, S., Gautier, S., & Salem, N. // Nutrients. – 2016. – 8(4). – P. 216.
14. Hatem Tallima Arachidonic acid: Physiological roles and potential health benefits / Hatem Tallima, Rashika El Ridi – A review Journal of Advanced Research, In press, corrected proof, Available online 24 November 2017
15. John Colombo D. Docosahexaenoic acid (DHA) and arachidonic acid (ARA) balance in developmental outcomes / D. John Colombo, Shaddy Jill, Elizabeth H. Kerling [et. al] // Prostaglandins, Leukotrienes and Essential fatty Acids (PLEFA). – 2017. – 121, 6. – P. 52–56
16. Khusainov D. R. Frequency-amplitude characteristics of the total biopotentials of the hippocamp ca3 zone under the influence of acetylsalicylic and salicylic acids / D. R. Khusainov, I. I. Korenyuk, V. L. Ablyakimova. – IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2021. – V. 853. – 012023.

FREQUENCY-AMPLITUDE CHARACTERISTICS OF THE TOTAL BIOPOTENTIALS OF THE CA3 ZONE OF THE HIPPOCAMPUS UNDER THE ACTION OF COBALT AND NICKEL SALICYLATE

Khusainov D. R., Chuyan E. N., Korenyuk I. I., Ablyakimova V. L.

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

The neurotropic effects of cobalt and nickel salicylate were studied during perfusion of rat hippocampal sections with solutions of these salts at concentrations of 10^{-2} M, 10^{-3} M, 10^{-4} M and 10^{-6} M. The results of this study convincingly demonstrate that the formation of complex salts of acetylsalicylic acid with divalent metals cobalt and nickel

leads to changes in neurotropic effects with varying degrees of severity. In the case of nickel salicylate, there is a decrease in the severity of the depressing neurotropic effect compared with acetylsalicylic and salicylic acids [16]. And in the case of cobalt salicylate at a concentration of 10^{-4} M, an activation effect is manifested. We believe that this is due to the influence of the whole complexon, since a high degree of stability is shown for cobalt salicylate, especially in an aqueous solution [10]. And this salt should remain fairly stable. In this regard, it is natural to assume that cobalt salicylate is capable of triggering other processes compared to acids and, perhaps, the mechanism of its action is less strongly associated with the COX system. The observed activation effect may be associated with a direct stimulating effect on the nerve cell and/or the result of synchronization of excitation in neural networks. It should be noted that the neurotropic effects of cobalt salicylate revealed in this work coincide in their orientation with the effect of this salt on the functioning of neurons of the subcaryngeal ganglia complex of the grape snail [10]. This indicates the uniformity of the mechanisms of influence of this salt on the nervous tissue of invertebrates and vertebrates.

For nickel salicylate, only a weakening of the inhibitory effect is shown in comparison with the precursor acids, perhaps the stability constant of this salt is not high and its noticeable dissociation occurs. As a result, the released residues of acetylsalicylic acid will block COX, which will trigger a mechanism of neurotropic influence close to the effects of salt solutions, the effects of which were described earlier [16]. The contribution of nickel ions will be insignificant, because its mass fraction in the salt molecule is small. From the position of ionic mechanisms, we believe that the inhibition of the generation of total biopotentials by the studied salts is most likely associated with the suppression of the incoming sodium current. And the stimulating effect of cobalt salicylate in a concentration of 10^{-4} M, on the contrary, with its stimulation (relief). Also, the described effects can be realized as a result of modulation of synaptic interaction in neural networks. Elucidation of these biophysical mechanisms is a priority task of our further research. And also, the most important question remains open about the possible change in the effects of these salts with different injections of substances into the body: oral, intramuscular, intravenous, etc.

Keywords: cobalt salicylate, nickel salicylate, bioelectrogenesis, hippocampus.

References

1. Ketterer M. W., Brymer J., Rhoads K., Kraft P., & Lovallo W. R. Is aspirin, as used for antithrombosis, an emotion-modulating agent?, *Journal of psychosomatic research*, **40**, 1 (1996).
2. Brunello N., Alboni S., Capone G. Acetylsalicylic acid accelerates the antidepressant effect of fluoxetine in the chronic escape deficit model of depression, *International clinical psychopharmacology*, **21**, 4 (2006).
3. Almeida O. P., Flicker L., Yeap B. B. [et al.] Aspirin decreases the risk of depression in older men with high plasma homocysteine, *Translational psychiatry*, **2**, 8 (2012).
4. Guan X., Shao F., Xie X. [et al.] Effects of aspirin on immobile behavior and endocrine and immune changes in the forced swimming test: comparison to fluoxetine and imipramine, *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, **124** (2014).
5. Bayram F., Reis R., Tunçer B. & Sipahi H. The Importance of the Structural Similarity of Drugs Used for Depression and Inflammation, Two Comorbid Diseases, *Current topics in medicinal chemistry*, **18**, 16 (2018).
6. Alekhine E. K. Aspirin: the new life of an old medicine, *Soros Educational Journal*, **5**, 7 (1999).

7. Sokolik J., Tumova I., Blahova M. [et al.] Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimethylsalicylates and their equimolar mixture, *Acta Facult. Farm. Univ. Comeniana*, **53** (2006).
8. Kurmashova E. D., Gataulina E. D., Zefirov A. L. et al. The effect of homocysteine and its derivatives on spontaneous network activity in the hippocampus of newborn baby rats, *Russian Physiol. I. M. Sechenov Journal*, **105**, 10 (2019).
9. Guide to immunopharmacology: Per. sangl. / Edited by M. M. Deila, J. K. Formena, 332 p. (M.: Medicine. – 1998).
10. Korenyuk I. I., Husainov D. R., Shulgin V. F. Effects of salicylic acid and its salts on electrical activity of neurons of *Helix albescens*, *Neurophysiology*, **37** (2005).
11. Cheretaev I. V., Korenyuk I. I., Khusainov D. R., Gamma T. V., Kolotilova O. I., Nozdrachev A. D. ATP-dependent and calcium mechanisms of the effects of salicylates on electrical potentials in neurons in the mollusk *Helix Albescens*, *Neuroscience and behavioral physiology*, **46**, 6 (2016).
12. Mashkovsky M. D. Medicinal products: 16 ed. in 2 t., 1216 p. (M.: New Wave Publishing House, 2020).
13. Hadley K. B., Ryan A. S., Forsyth S., Gautier S., & Salem N. The essentiality of arachidonic acid in infant development, *Nutrients*, **8**, 4 (2016).
14. Hatem Tallima, Rashika El Ridi Arachidonic acid: Physiological roles and potential health benefits, *A review Journal of Advanced Research*, In press, corrected proof, Available online 24 November 2017.
15. John Colombo D., Shaddy Jill, Elizabeth H. Kerling [et. al] Docosahexaenoic acid (DHA) and arachidonic acid (ARA) balance in developmental outcomes, *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential fatty Acids (PLEFA)*, **121**, 6 (2017).
16. Khusainov D. R., Korenyuk I. I., Ablyakimova V. L. Frequency-amplitude characteristics of the total biopotentials of the hippocamp ca3 zone under the influence of acetylcalcinic and salicylic acids, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **853** (2021). 012023.

УДК 57.024; 57.034; 611.81

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-250-261

ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ДЕПРЕССИВНОПОДОБНОГО ПОВЕДЕНИЯ У КРЫС

Чайка А. В.

*ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва»,
Краснолесье, Симферопольский район, Россия
E-mail: andrew.chajka@yandex.ru*

В статье анализируется ежедневное изменение уровня иммобильности у животных в «Тесте Порсолта» под воздействием хронического непредсказуемого умеренного стресса, а также на фоне блокирования D₂-подобных рецепторов. Установлено, что пассивное плавание у крыс характеризуется полунедельными (2,5–3,5 дня) и недельными (7±3 дня) ритмическими изменениями, однако, именно блокада D₂-подобных рецепторов приводит к исчезновению типичного для физиологических систем многих животных 4-дневного ритма, но – возникновению 2-дневного ритма, который принято ассоциировать с воздействием сильных стресс-факторов. Таким образом, хроническую блокаду D₂-подобных рецепторов можно рассматривать в качестве мощного стрессора, вызывающего депрессивноподобное поведение у крыс, а саму дофаминергическую систему – как значимый регулятор временной динамики депрессивных симптомов.

Ключевые слова: депрессия, хронический умеренный непредсказуемый стресс, дофамин, D₂-рецепторы, биоритмы.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность антидепрессантных веществ в доклинических экспериментальных тестах принято проверять в ключевые дни, зачастую, еженедельно [1, 2], либо по схеме «до-после» [3], не принимая в расчёт ежедневную динамику поведенческих показателей. Таковые исследования характерны, в большей мере, для клиники и практически не имеют аналогов при работе с лабораторными животными. Учёт того, как конкретные методы лечения депрессии воздействуют не только количественно в определённые дни, но и качественно на динамику симптомов заболевания в целом, даст возможность увидеть картину в общем, лучше подбирать антидепрессанты и прогнозировать их эффективность.

Изучение фундаментальных биоритмологических особенностей протекания депрессивных расстройств является важным вопросом ещё и потому, что эндогенная часть системы биологических часов позволяет прогнозировать будущие стресс-воздействия и гомеостатически реагировать на них упреждающе, а не только реактивно [4]. Установлено, что для организма животных (в т. ч. и человека) характерны ритмические колебания функциональных параметров, нарушения ритмичности которых могут приводить к снижению адаптационных возможностей,

дезадаптации и развитию различных заболеваний [5]. В современной литературе присутствует ряд работ, доказывающих участие биоритмов в патогенезе депрессии [6–8] и наличие ритмических изменений в проявлении симптомов этого заболевания [9–11].

Многое известно и написано о циркадных ритмах, что поспособствовало лучшему пониманию того, как изменяется физиология живых организмов в течение двадцати четырёх часов. Менее понятно, изменяются ли (и как?) физические и психические показатели у животных в большем временном масштабе [12]. Лишь недавно стало уделяться внимание изучению не только циркадных (≤ 28 ч), но и более длительных инфрадианных биоритмов, что перспективно для разработки хронобиологических подходов к диагностике и коррекции соматических и психических заболеваний [13]. Более того, большинство биоритмологических исследований посвящено оценке реакций организма на воздействие различных факторов метеорологической и геомагнитной природы [14], но не факторов психической и химической природы. Таким образом, целью данного исследования было изучение инфрадианной ритмики в протекании депрессивноподобного поведения у крыс, вызванного хроническими стрессорами фармакологического и психосоциального происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены на 60 крысах-самцах Вистар массой 200–250 г, разделённых на 6 равных групп ($n=10$): «контроль 3», «стресс 2», «галоперидол 2», «стресс+амитриптилин», «галоперидол+амитриптилин» и «стресс+галоперидол». Также в итоговый биоритмологический анализ были включены данные из предыдущих исследований, которые уже были частично опубликованы ранее [15, 16]: группы ($n=10$) «контроль 1», «контроль 2», «стресс 1» и «галоперидол 1» – с целью проверить воспроизводимость данных и снизить вероятность влияния случайных (нетипичных) флуктуаций на итоговые выводы.

Группа «стресс» на протяжении 21 дня подвергалась хроническому непредсказуемому умеренному стрессу, по описанной ранее методике [16].

Селективный блокатор D_2 -рецепторов галоперидол («Галоперидол», Мосхимфармпрепараты им. Н. А. Семашко, Россия) вводился в течение 24 дней (3 дня предварительного введения для достижения высокого % заблокированных рецепторов) в дозе 2,5 мг/кг.

Трициклический антидепрессант амитриптилин («Amitriptyline Hydrochloride», Sigma-Aldrich, США) вводился в течение 21 дня в дозе 15 мг/кг.

Вещества разводились в физрастворе и вводились внутривенно в объёме 0,2 мл/животное за 30 мин до начала тестирования. Контрольная группа получала физраствор в аналогичном объёме. При сочетанном введении двух веществ между инъекциями производился перерыв в 30 мин.

Начиная с 4-го дня эксперимента, поведение животных ежедневно исследовали в «Тесте Порсолта», через 30 мин после инъекций. Установка данного теста представляет собой прозрачный цилиндр из оргстекла высотой 45 см и диаметром 20 см (НПК «Открытая Наука», Россия). Цилиндр заполняли на 2/3 водой

температурой $+22\pm 1^\circ\text{C}$. Длительность тестирования – 3 минуты (укороченная процедура) [17, 18]; регистрировалось время иммобильности в секундах.

Достоверность различий между группами определялась с помощью критерия Манна-Уитни или теста Стьюдента, согласно характеру распределения данных. Расчёты и визуализация результатов проведены в программе GraphPad Prism 8. Ритмический компонент в динамике данных определяли с помощью спектрального анализа Фурье в программе STATISTICA 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучая графики по динамике иммобильности в «Тесте Порсолта», вызванной хроническим стрессом и блокадой D_2 -подобных рецепторов, становится очевидным, что уровень депрессивности у животных обладает выраженной периодичностью (рис. 1–2).

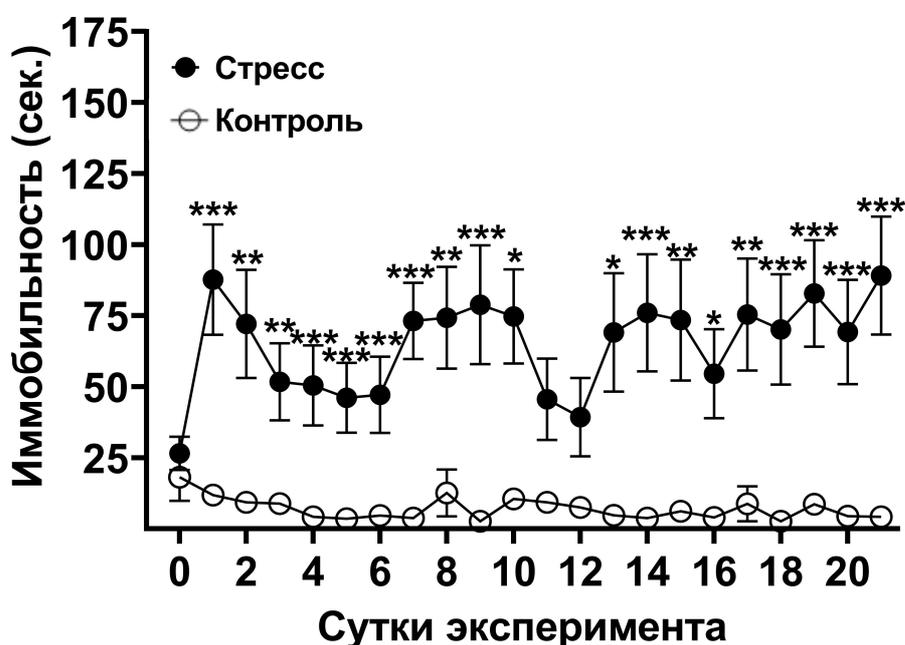


Рис. 1. Динамика времени иммобильности в группах «стресс 2» и «контроль 2» во втором эксперименте.

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при $*p < 0,05$, $**p < 0,01$, $***p < 0,001$ между группами «контроль» и «стресс» (критерий Стьюдента).

Для чёткого установления данных периодов был использован анализ Фурье. Полученные результаты представлены в таблице.

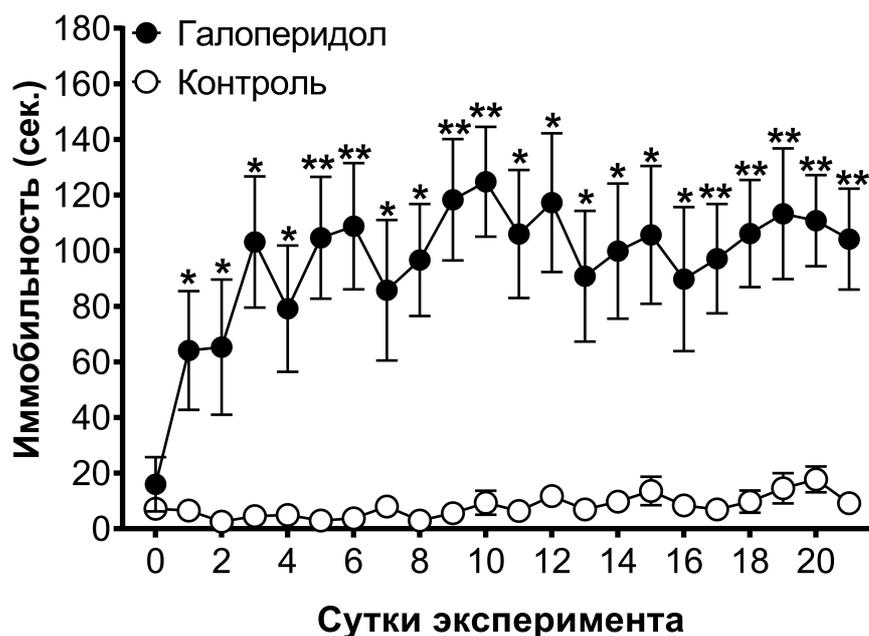


Рис. 2. Динамика времени иммобильности в группах «контроль 3» и «галоперидол 2».

Примечание: звёздочками отмечены достоверные отличия при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, между группами «контроль» и «галоперидол» (критерий Манна-Уитни).

Таблица

Результаты анализа Фурье

Воздействие	Группа	Основные ритмы (дни)	Доминирующие ритмы (дни)
Блокада D ₂ -подобных рецепторов	Галоперидол 1	3,67 (1285)*	7,33 3,67 2,20
		7,33 (1046)	
		2,44 (365)	
	Галоперидол 2	7,33 (1384)	
		2,20 (866)	
	Галоперидол 1 + Галоперидол 2	7,33 (1086)	
		3,67 (837)	
Хронический умеренный непредсказуемый стресс	Стресс 1	11,00 (3534)	
		2,75 (1389)	
		4,40 (861)	

Продолжение Таблицы

Хронический умеренный непредсказуемый стресс	Стресс 2	7,33 (1196)	2,75
		2,00 (723)	11,00
		2,75 (296)	2,00
	Стресс 1 + Стресс 2	2,75 (687)	4,40
		2,00 (670)	
		11,00 (558)	
		4,40 (251)	
Контроль	<i>Контроль 1</i>	7,33 (403)	2,44
		3,67 (342)	3,67
		2,44 (100)	7,33
	<i>Контроль 2</i>	2,44 (25)	11,00
		4,4 (24)	4,40
		11,00 (16,5)	
	<i>Контроль 3</i>	11,00 (144)	
		4,40 (133)	
		2,75 (43)	
	<i>Контроль (1+2+3)</i>	3,67 (66)	
		7,33 (49)	
		2,44 (31)	
Смешанное	Стресс + Амитриптилин	7,33 (339)	7,33
		4,40 (291)	4,40
		2,75 (192)	2,75
		2,00 (96)	2,00
	Галоперидол + Амитриптилин	2,44 (1843)	2,44
		4,40 (667)	4,40
		2,00 (504)	2,00
	Стресс + Галоперидол	2,00 (2115)	2,00
		5,50 (1131)	5,50
		11,00 (1105)	11,00
		2,75 (978)	2,75

Примечание: (*) – в скобках указаны значения периодограммы.

Из этих данных следует, что динамика времени иммобильности в «Тесте Порсолта»:

1. Во многом характеризуется полунедельными (2,5–3,5 дня) и недельными (7±3 дня) ритмическими изменениями.

Известно, что целый ряд биоритмов длительностью от 2,74±0,24 до 7,20±0,30 дней обусловлен изменением в секреции и экскреции гормонов надпочечников [5], и катехоламинов в целом [19], к которым относится и дофамин. Особенно часто встречается 4-дневный ритм, который также присутствует и в колебаниях уровня мелатонина [20]. Ритмы длительностью в 3–7 дней также наблюдаются в уровне

депрессивности и тревожности у людей. Правда эти ритмы по значимости и распространённости уступают более крупным (продолжительным) ритмам [21].

2. В группах «галоперидол» и «стресс+галоперидол», в отличие от остальных, не содержится ритма 4,40 дня.

В организме крыс Вистар 4-суточные периоды характерны практически для всех физиологических систем. Вероятно, чередование подъёмов и спадов, напряжения и расслабления периодичностью в 4 суток эффективно защищает организм от различных перегрузок [22]. Объяснение этому эффекту может заключаться в том, что под действием некоторых стрессоров определённые ритмы могут исчезать [19]. Амитриптилин возвращает ритм 4,40 на фоне введения галоперидола, что может говорить о его адаптогенном эффекте.

3. В группах «стресс», «галоперидол», и отчасти «стресс+галоперидол» и «стресс+амитриптилин» ярко выражены более длинные ритмы – 5,50, 7,33 и 11,00 дней.

Известно, что результатом воздействия стрессоров может быть удлинение биоритмов, т.к. необходимо больше времени для отдыха и восстановления, и эти периоды выступают в роли «амортизаторов» [23]. Установлено, что активация дофаминергической системы метамфетамином удлиняет ультрадианные биоритмы двигательной активности, а блокада D₂-подобных рецепторов галоперидолом – укорачивает [24]. Возможно, с инфрадианными ритмами этот принцип не работает. Есть основания предполагать, что происходит удлинение одних биоритмов на фоне возникновения других – более коротких (2,00–2,20 дня) и общее действие становится модулирующим.

4. В группах со стрессом и галоперидолом встречаются более мелкие ритмы длительностью в 2,00 и 2,20 дня, которых нет в контроле.

Литературные данные крайне скудно описывают значимость этих ритмов, и в классической классификации таких ритмов вообще нет: циркадные ритмы заканчиваются на 28 часах, а следующие за ними полунедельные ритмы начинаются сразу минимум с 2,5 дней.

Согласно теории В. И. Чумакова и соавт., 48-часовой ритм является следствием исключительно некоего сильного стресс-воздействия на организм, и в норме не проявляется. Этот ритм неспецифический (типичен для разных стрессоров и организмов разной сложности организации), эндогенный, и характеризуется полным периодом колебания (подъём/спад). Первая половина (полупериод) ритма (подъём) связана с активизацией симпатической системы, что влечёт за собой увеличение концентрации адренкортикотропного гормона, кортизола, количества лейкоцитов, изменения в уровне натрия в плазме крови и т.п. Однако, это вызывает сильное напряжение всех систем организма и не может длиться долго, поэтому во второй полупериод ритма происходит спад – тонус симпатической системы снижается, а парасимпатической повышается, которая влияет на уровень глюкозы и калия в крови, проницаемость капилляров и т.п. [25].

Данные Фурье анализа по текущему исследованию согласуются с этой теорией: 2-дневные ритмы тем ярче выражены, чем сильнее стресс. Поэтому в группе «стресс+галоперидол» этот ритм доминирующий, а введение амитриптилина

снижает его значимость, что в случае с хроническим стрессом, что в случае с блокадой D₂-подобных рецепторов.

Стресс-факторы могут также вызывать и фазовые сдвиги в исследуемых показателях [19]. Подобные изменения наблюдались и в данном исследовании, что в группе «стресс» (рис. 3), что в группе «галоперидол».

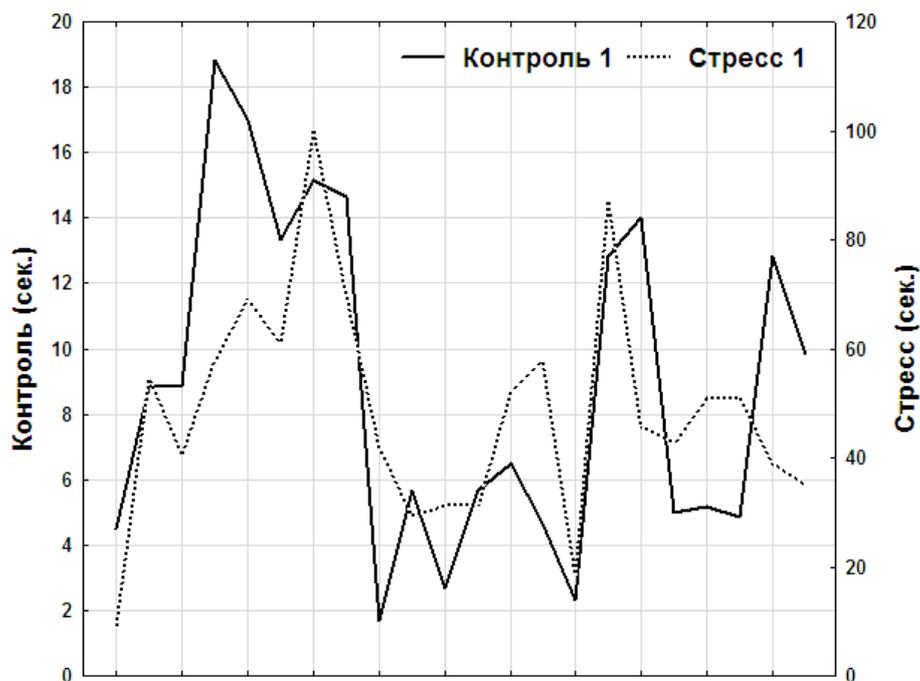


Рис. 3. Фазовый сдвиг уровня иммобильности в группе «стресс».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хроническая блокада D₂-подобных рецепторов изменяет адаптационные механизмы организма крыс: во временной динамике уровня иммобильности в «Тесте Порсолта» исчезает типичный для физиологических систем многих животных 4-дневный ритм, но возникает стресс-вызванный 2-дневный ритм, а также наблюдается фазовый сдвиг в уровне иммобильности по сравнению с контрольными животными. Это характеризует хроническую блокаду D₂-подобных рецепторов как мощный стресс-фактор, вызывающий депрессивноподобное поведение у крыс, и указывает на значимый вклад центральной дофаминергической системы в инфрадианную ритмику такого поведения.

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

Список литературы

1. Wang J. M. BDNF and COX-2 participate in anti-depressive mechanisms of catalpol in rats undergoing chronic unpredictable mild stress / J. M. Wang, L. H. Yang, Y. Y. Zhang [et al.] // *Physiology & behavior*. – 2015. – Vol. 151. – P. 360–368.
2. Haraguchi A. Night eating model shows time-specific depression-like behavior in the forced swimming test / A. Haraguchi, M. Fukuzawa, S. Iwami [et al.] // *Scientific reports*. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 1081.
3. Guo J. Y. Chronic treatment with celecoxib reverses chronic unpredictable stress-induced depressive-like behavior via reducing cyclooxygenase-2 expression in rat brain / J. Y. Guo, C. Y. Li, Y. P. Ruan [et al.] // *European journal of pharmacology*. – 2009. – Vol. 612, № 1–3. – P. 54–60.
4. Miyake T. Reconstitution of organismal liver clock function requires light / T. Miyake, M. Doi // *Trends in Endocrinology & Metabolism*. – 2019. – Vol. 30, № 9. – P. 569–571.
5. Диатроптов М. Е. Инфрадианные биоритмы изменения структурно-функциональных зон коры надпочечников у половозрелых самцов крыс Вистар / М. Е. Диатроптов, М. В. Кондашевская, В. А. Мхитаров // *Клиническая и экспериментальная морфология*. – 2014. – № 2. – С. 27–31.
6. Bunney J. N. Circadian abnormalities, molecular clock genes and chronobiological treatments in depression / J. N. Bunney, S. G. Potkin // *British medical bulletin*. – 2008. – Vol. 86, № 1. – P. 23–32.
7. Leach G. Depression-like responses induced by daytime light deficiency in the diurnal grass rat (*Arvicanthis niloticus*) / G. Leach, W. Adidharma, L. Yan // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8, № 2. – P. e57115.
8. Logan R. W. Chronic stress induces brain region-specific alterations of molecular rhythms that correlate with depression-like behavior in mice / R. W. Logan, N. Edgar, A. G. Gillman [et al.] // *Biological psychiatry*. – 2015. – Vol. 78, № 4. – P. 249–258.
9. Nutt D. J. Depression, anxiety and the mixed conditions / D. J. Nutt, C. Bell, J. Potokar. – London: Martin Dunitz. 1997. – 72 pp.
10. Минутко В. Л. Депрессия / В. Л. Минутко. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 320 с.
11. Тювина Н. А. Сравнительная характеристика клинических особенностей депрессии при биполярном аффективном расстройстве I и II типа / Н. А. Тювина, И. Г. Коробкова // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. – 2016. – Т. 8, № 1. – P. 22–28.
12. Barber C. F. A review and applications of monthly circadian rhythms / C. F. Barber // *Journal of psychiatric and mental health nursing*. – 2010. – Vol. 17, № 3. – P. 274–279.
13. Рапопорт С. И. Хронобиология и хрономедицина / С. И. Рапопорт, В. А. Фролов, Л. Г. Хетагурова. – М.: Изд. МИА, 2012. – 480 с.
14. Dudin S. A. Infradian rhythms in medical ambulance team dispatches // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2012. – Vol. 48, № 8. – P. 810–817.
15. Чайка А. В. Хроническая блокада D₂-рецепторов и поведение низкодепрессивных крыс / А. В. Чайка, Д. Р. Хусаинов, И. В. Черетаев [и др.] // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. – 2017. – Т. 103, № 2. – P. 172–181.
16. Чайка А. В. Тест Порсолта как лонгитюдный метод оценки динамики эмоционального состояния крыс в модели хронического непредсказуемого умеренного стресса / А. В. Чайка, Е. В. Коношенко, Д. Р. Хусаинов [и др.] // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2018. – Т. 4 (70), № 2. – С. 133–147.
17. Калуев А. В. Стресс, тревожность и поведение / А. В. Калуев – Киев: Энигма, 1998. – 95 с.
18. Фролова Г. А. Этологические эффекты антиэстрогенного и антиандрогенного воздействия на самок и самцов белых крыс, отличающихся по уровню депрессивности / Г. А. Фролова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2016. – № 4. – P. 110–116.
19. Шишко Е. Ю. Инфрадианная ритмика симпатoadреналовой системы при гипокинетическом стрессе / Е. Ю. Шишко, В. И. Малыгина // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. – 2004. – Т. 17, № 1 (56). – С. 108–115.
20. Диатроптов М. Е. Многодневные биоритмы морфофункционального состояния тимуса, уровня мелатонина и кортикостерона у самцов крыс Вистар / М. Е. Диатроптов, М. А. Диатроптова // *Бюллетень Северного государственного медицинского университета*. – 2013. – С. 111–112.

21. Eastwood M. R. Infradian rhythms: a comparison of affective disorders and normal persons / M. R. Eastwood, J. L. Whitton, P. M. Kramer, A. M. Peter // Archives of general psychiatry. – 1985. – Vol. 42, № 3. – P. 295–299.
22. Диатроптов М. Е. Инфрадианная ритмика показателей физиологических и метаболических процессов у самцов крыс Вистар / М. Е. Диатроптов, М. В. Кондашевская // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 3. – С. 410–416.
23. Шурлыгина А. В. Основы хронобиологии и хрономедицины в таблицах и схемах: методическое пособие / А. В. Шурлыгина. – Новосибирск: НГУ, 2001. – 32 с.
24. Blum I. D. A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal / I. D. Blum, L. Zhu, L. Moquin [et al.] // Elife. – 2014. – Vol. 3. – P. e05105.
25. Chumakov V. I. Does the 48-hour biological rhythm exist? / V. I. Chumakov, A. A. Soldatov, V. N. Dymochkin // Human Physiology. – 2000. – Vol. 26, № 4. – P. 488–493.

INFRADIAN RHYTHMS OF DEPRESSIVE-LIKE BEHAVIOR IN RATS

Chajka A. V.

*Krasnolesie Crimean College of Olympic Reserve, Simferopol district, Russian Federation
E-mail: andrew.chajka@yandex.ru*

It is customary to check the effectiveness of antidepressant substances in preclinical experimental tests on key days, often weekly [1, 2], or according to the “before-after” scheme [3], without taking into account the daily dynamics of behavior. Such studies are typical, to a greater extent, for the clinic and practically have no analogues when working with laboratory animals. Understanding how specific treatments for depression affect not only quantitatively on certain days, but also qualitatively on the dynamics of symptoms of the disease in general, will help to see the big picture and better select antidepressants and predict their effectiveness.

The study of the fundamental rhythmological features of the course of depressive disorders is also an important issue because the endogenous part of the biological clock system makes it possible to predict future stress effects and to react homeostatically to them proactively, and not only reactively [4]. It has been established that the organism of animals (including humans) is characterized by rhythmic fluctuations of functional parameters, rhythmic disturbances of which can lead to a decrease in adaptive capabilities, maladjustment and the development of various diseases [5]. In the modern literature there are a number of works proving the participation of biorhythms in the pathogenesis of depression [6–8] and the presence of rhythmic changes in the manifestation of symptoms of this disease [9–11].

Much is known and written about circadian rhythms, which has contributed to a better understanding of how the physiology of living organisms’ changes over the course of twenty-four hours. It is less clear whether and how physical and mental parameters in animals change on a larger time scale [12]. It is only recently that attention has been paid to the study of not only circadian (≤ 28 h), but also longer infradian biorhythms, which is promising for the development of chronobiological approaches to the diagnosis and correction of somatic and mental diseases [13]. Moreover, most biorhythmological studies

are devoted to assessing the body's reactions to the impact of various factors of meteorological and geomagnetic nature [14], but not factors of a mental and chemical nature.

The experiments were carried out on 60 male Wistar rats weighing 200-250 g, divided into 6 equal groups (n = 10): “control 3”, “stress 2”, “haloperidol 2”, “stress + amitriptyline”, “haloperidol + amitriptyline” and “stress + haloperidol”. Also, the final biorhythmological analysis included data from previous studies, which had already been partially published earlier [15, 16]: groups (n = 10) “control 1”, “control 2”, “stress 1” and “haloperidol 1” - in order to check the reproducibility of the data and reduce the likelihood of the influence of random (atypical) fluctuations on the final conclusions.

The “stress” groups were subjected to chronic, unpredictable mild stress for 21 days, according to the previously described method [16].

Selective D₂-receptor blocker haloperidol (“Haloperidol”, N. A. Semashko Moskhimpharmpreparaty, Russia) was administered for 24 days (3 days of preliminary administration to achieve a high % of blocked receptors) at a dose of 2.5 mg/kg.

The tricyclic antidepressant amitriptyline (Amitriptyline Hydrochloride, Sigma-Aldrich, USA) was administered for 21 days at a dose of 15 mg/kg.

All substances were diluted in saline and injected intraperitoneally in a volume of 0.2 ml/animal 30 minutes before testing. The control group received saline solution in the same volume. With the combined administration of several substances, a break of 30 minutes was made between injections.

Starting from the 4th day of the experiment, the behavior of the animals was examined daily in the Forsed swim test (FST), 30 minutes after the last injection. Testing duration – 3 minutes (shortened procedure) [17, 18]; the time of immobility was recorded in seconds.

The significance of differences between groups was determined using the Mann-Whitney test or Student's t test, according to the nature of the distribution of the data. The calculations and visualization of the results were carried out in the GraphPad Prism 8. The rhythmic component in the data dynamics was determined using Fourier spectral analysis in the STATISTICA 10.

Studying the graphs of immobility dynamics in the FST caused by chronic stress and blockade of D₂-like receptors, it becomes obvious that the level of depression in animals has a pronounced periodicity.

From these data, it follows that the dynamics of the immobility time in FST:

1. It is largely characterized by semi-weekly (2.5–3.5 days) and weekly (7 ± 3 days) rhythmic changes.
2. In the groups “haloperidol” and “stress + haloperidol”, in contrast to the others, there is no rhythm of 4.40 days.
3. In the groups “stress”, “haloperidol”, and partly “stress + haloperidol” and “stress + amitriptyline”, longer rhythms are pronounced – 5.50, 7.33 and 11.00 days.
4. In the groups with stress and haloperidol, there are smaller rhythms with a duration of 2.00 and 2.20 days, which are not in the control.

Stress factors can also cause phase shifts in the studied parameters [19]. Similar changes were observed in this study, both in the stress group and in the haloperidol group.

Chronic blockade of D₂-like receptors changes the adaptive mechanisms of the rat organism: in the temporal dynamics of the immobility level in FST, the 4-day rhythm typical for the physiological systems of many animals disappears, but a stress-induced 2-day rhythm occurs, and a phase shift in the level of immobility compared with control animals. This characterizes the chronic blockade of D₂-like receptors as a powerful stress factor causing depression-like behavior in rats, and indicates a significant contribution of the central dopaminergic system to the infradian rhythm of this behavior.

Keywords: depression, chronic mild unpredictable stress, dopamine, D₂-receptors, biorhythms.

The work was carried out on the equipment of the Centre of collective usage «Experimental physiology and biophysics» of the V. I. Vernadsky CFU.

References

1. Wang J. M., Yang L. H., Zhang Y. Y., Niu C. L., Cui Y., Feng W. S., & Wang G. F. BDNF and COX-2 participate in anti-depressive mechanisms of catalpol in rats undergoing chronic unpredictable mild stress. *Physiology & behavior*, **151**, 360 (2015).
2. Haraguchi A., Fukuzawa M., Iwami S., Nishimura Y., Motohashi H., Tahara Y., & Shibata S. Night eating model shows time-specific depression-like behavior in the forced swimming test. *Scientific reports*, **8(1)**, 1081 (2018).
3. Guo J. Y., Li C. Y., Ruan Y. P., Sun M., Qi X. L., Zhao B. S., & Luo F. Chronic treatment with celecoxib reverses chronic unpredictable stress-induced depressive-like behavior via reducing cyclooxygenase-2 expression in rat brain. *European journal of pharmacology*, **612(1-3)**, 54 (2009).
4. Miyake T., & Doi M. Reconstitution of organismal liver clock function requires light. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, **30(9)**, 569 (2019).
5. Diatropov M. E., Kondashevskaya M. V., Mkhitarov V. A. Infradian biorhythms of structure-functional changes of the adrenal cortex zones of mature males Wistar rat. *Clinical and Experimental Morphology*, **2**, 27 (2014).
6. Bunney J. N., & Potkin S. G. Circadian abnormalities, molecular clock genes and chronobiological treatments in depression. *British medical bulletin*, **86(1)**, 23 (2008).
7. Leach G., Adidharma W., & Yan L. Depression-like responses induced by daytime light deficiency in the diurnal grass rat (*Arvicanthis niloticus*). *PLoS One*, **8(2)**, e57115 (2013).
8. Logan R. W., Edgar N., Gillman A. G., Hoffman D., Zhu X., & McClung C. A. Chronic stress induces brain region-specific alterations of molecular rhythms that correlate with depression-like behavior in mice. *Biological psychiatry*, **78(4)**, 249 (2015).
9. Nutt D. J., Bell C., Potokar J. *Depression, anxiety and the mixed conditions* (London: Martin Dunitz, 1997), 72 pp.
10. Minutko V. L. *Depression* (GEOTAR-Media, Moscow, 2006), 320 pp.
11. Tyuvina N. A., Korobkova I. G. Comparative clinical characteristics of depression in bipolar affective disorders types I and II. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika = Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*, **8(1)**, 22 (2016).
12. Barber C. F. A review and applications of monthly circadian rhythms. *Journal of psychiatric and mental health nursing*, **17(3)**, 274 (2010).
13. Rapoport S. I., Frolov V. A., Khetagurova L. G. *Chronobiology and chronomedicine* (MIA Publishing house, Moscow, 2012), 480 pp.
14. Dudin S. A. Infradian rhythms in medical ambulance team dispatches. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, **48(8)**, 810 (2012).
15. Chaika A. V., Khusainov D. R., Cheretaev I. V., Korenyuk I. I., & Nozdrachev A. D. Chronic Blockade of D2 Receptors and Behavior in Low-Depressivity Rats. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, **48(5)**, 564 (2018).

16. Chajka A. V., Konoshenko E. V., Khusainov D. R., Shakhmatova V. I., Mozharovskaya I. A., Cheretaev I. V. Forced swim test as a longitude method of assessment the dynamics of the emotional state of rats in the model of chronic unpredictable mild stress. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **4(70)**, **2**, 133 (2018).
17. Kalueff A. V. *Stress, anxiety and behavior*, 95 p. (Kyiv: Enigma, 1998).
18. Frolova G. A. Comparative ethological characteristics of males and females of white rats in Porsolt test in blocking receptors of sex hormone, *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, **4**, 110 (2016).
19. Shishko E. Yu., Malygina V. I. Infradian rhythm of the sympathoadrenal system in hypokinetic stress. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky TNU. Series: Biology, Chemistry*, **17(1)**, 108 (2004).
20. Diatropov M. E., Diatropova M. A. Multiday biorhythms of the morphofunctional state of the thymus, the level of melatonin and corticosterone in male Wistar rats. *Bulletin of the Northern State Medical University*, 111 (2013).
21. Eastwood M. R., Whitton J. L., Kramer P. M., & Peter A. M. Infradian rhythms: a comparison of affective disorders and normal persons. *Archives of general psychiatry*, **42(3)**, 295 (1985).
22. Diatropov M. E., Kondashevskaya M. V. Infradian rhythmicity of markers of physiologic and metabolic processes in Vistar male rats. *Russian Journal of Physiology*, **98(3)**, 410 (2012).
23. Shurlygina A. V. *Fundamentals of chronobiology and chronomedicine in tables and diagrams: a methodological guide* (NSU, Novosibirsk, 2001), 32 pp.
24. Blum I. D., Zhu L., Moquin L., Kokoeva, M. V., Gratton, A., Giros, B., & Storch, K. F. (2014). A highly tunable dopaminergic oscillator generates ultradian rhythms of behavioral arousal. *Elife*, **3**, e05105.
25. Chumakov V. I., Soldatov A. A., & Dymochkin V. N. Does the 48-hour biological rhythm exist? *Human Physiology*, **26(4)**, 488 (2000).

УДК 612.014.42

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-262-270

**ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПИГМЕНТНЫЙ
СОСТАВ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ
TRITICUM AESTIVUM L. В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ**

Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н.

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

Данное исследование посвящено выявлению адаптогенного действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) миллиметрового (ММ) диапазона (длина волны – 7,1 мм, частота излучения – 42,3 ГГц, плотность потока мощности облучения – 0,1 мВт/см²) на показатели пигментной системы ювенильных растений *Triticum aestivum* L., сорт Селянка при осмотическом стрессе, вызванном засолением. Выявлено стимулирующее влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на содержание хлорофилла и активность фотосинтеза в растениях *Triticum aestivum* L. Полученные результаты по количественному содержанию хлорофиллов показали, что их содержание возрастало как в нормальных условиях, так и при осмотическом стрессе в среднем на 20 %. Установлено повышение интенсивности фотосинтеза у опытных растений на 30,0 % по сравнению с контрольными растениями при осмотическом стрессе.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение миллиметрового диапазона, осмотический стресс, пигменты, хлорофилл, активность фотосинтеза, *Triticum aestivum* L.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе интенсификации различных отраслей растениеводства необходимо применять современные методы воздействия на растения для повышения устойчивости высокопродуктивных сортов злаковых культур к неблагоприятным условиям произрастания таким, как пониженная и повышенная температура, недостаток влаги, засоление почвы.

Засоление почвы – критический фактор, лимитирующий процессы роста и развития растений [1, 2]. В условиях хлоридного засоления почвы тормозится клеточное деление и растяжение, что приводит к формированию мелких клеток. Вследствие этого задерживается рост самого растения, в первую очередь листьев и стеблей. Таким образом, засоленность почв вызывает значительные и постепенно усиливающиеся изменения большинства физиологических процессов в организме растений [3, 4].

Для ослабления отрицательных влияний осмотического стресса в сельскохозяйственной практике используют различные приемы, но они не всегда бывают эффективными в плане продуктивности и качества, а также экономической целесообразности. В ряде работ было показано положительное влияние обработки растений синтетическими регуляторами роста, микроэлементами, биологически активными веществами, витаминами [5–7].

Перспективным и экологически безопасным техническим приёмом предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур является, превентивная обработка семян культурных растений электромагнитным излучением (ЭМИ) низкой интенсивности. Низкоинтенсивное ЭМИ миллиметрового (ММ) диапазона с одной стороны, является одной из составляющих электромагнитного загрязнения, а с другой, как показали результаты проведенных до настоящего времени исследований, – одним из механизмов регулирования процессов жизнедеятельности [8–10].

В литературе опубликовано достаточно много исследований, посвященных изучению механизмов адаптации растений к хлоридному стрессу под влиянием стимуляторов роста. Но данные по применению низкоинтенсивного ЭМИ ММ диапазона с целью повышения солеустойчивости растений и изучению его действия на физиолого-биохимические процессы пшеницы при таких условиях нами не обнаружено.

Целью наших исследований являлось изучение влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на пигментный состав и фотосинтетическую активность *Triticum aestivum* L. в условиях хлоридного засоления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились семена и растения *Triticum aestivum* L., сорт Селянка. Семена данного растения отбирали по средним размерам, подвергали воздействию низкоинтенсивного ЭМИ ММ диапазона и замачивали на 30 минут в растворе перекиси водорода для дезинфекции. Контролем служили необлученные ЭМИ ММ семена.

Для экспериментального облучения использовали терапевтические генераторы «КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ – 04» (длина волны – 7,1 мм, частота излучения – 42,3 ГГц, плотность потока мощности облучения – 0,1 мВт/см²). Семена подвергались воздействию данного физического фактора однократно с экспозицией 30 минут [11].

Для определения влияния ЭМИ ММ при действии хлоридного засоления на всхожесть семян, после обработки выкладывались в чашке Петри по 50 штук на двойной слой фильтровальной бумаги, вливая в каждую чашку Петри по 15 мл раствора NaCl. Для проращивания семена помещали в термостат типа ТС– 80– М– 2 на 3 суток в темноту при температуре +25 °С.

Схема опыта была следующая:

Контроль 1– семена, без воздействия ЭМИ ММ и NaCl; пророщенные на дистиллированной воде;

Контроль 2 – семена, подвергнутые ЭМИ ММ, пророщенные на дистиллированной воде;

Вариант 1 – семена, с добавлением в чашки Петри 50 мМоль NaCl;

Вариант 2 – семена, с добавлением в чашки Петри 100 мМоль NaCl;

Вариант 3 – семена, с добавлением в чашки Петри 150 мМоль NaCl;

Вариант 4 – семена, подвергнутые ЭМИ ММ, с добавлением в чашки Петри 50 мМоль NaCl;

Вариант 5 – семена, подвергнутые ЭМИ ММ, с добавлением в чашки Петри 100 мМоль NaCl;

Вариант 6 – семена, подвергнутые ЭМИ ММ, с добавлением в чашки Петри 150 мМоль NaCl.

На 4-е сутки проростки переносили на водную культуру (среда Кнопа) и выращивали при естественном освещении в вегетационных сосудах емкостью 0,5 л.

Определение интенсивности фотосинтеза. Для измерения интенсивности фотосинтеза использовали метод ассимиляционной колбы по Л.А. Иванову и Н.Л. Коссовичу [12].

Метод основан на количестве диоксида углерода, поглощенного листьями при фотосинтезе. Опыт проводили на 14 – дневных растения пшеницы сорта Селянка.

Интенсивность фотосинтеза вычисляли по формуле:

$$I_{\phi} = (A - B) * K * 0.55 * 60 / (S * t)$$

где А – количество HCl, пошедшее на титрование барита в опытной колбе, мл; В – количество HCl, пошедшее на титрование барита в контрольной колбе, мл; К – поправка к титру HCl; 0,55 – число мг CO₂, соответствующее 1 мл 0,025N HCl; S – площадь листьев, дм²; t – экспозиция, мин; 60 – коэффициент перевода минут в часы.

Определение количества хлорофилла в листьях пшеницы сорта Селянка. Для того что бы определить количество хлорофилла в растениях пшеницы, был использован колориметрический метод [4].

Навеску 0,5 г свежего растительного материала тщательно растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством 100 %-ного ацетона (2–3 мл), чистого кварцевого песка и мела. После настаивания (2–3 мин) экстракт переносили на стеклянный фильтр № 3 и фильтровали в колбу Бунзена, соединенную с водоструйным насосом. На фильтр приливали небольшими порциями ацетон до обесцвечивания фильтрата и общего объема экстракта 10 мл.

Количество хлорофилла в вытяжке из растительного материала определяли с помощью – 56 с красным светофильтром ($\lambda = 640-750$ нм). В качестве контроля использовали 100 % раствор ацетона. Согласно методике был построен калибровочный график, для этого был использован стандартный раствор Гетри. Исследования проводили в трехкратной повторности, по 10 растений в каждой повторности.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической, стандартное отклонение, а также критерий достоверности Краскелла-Уолисса. Все

измерения и исследования осуществляли на оборудовании, прошедшим метрологическую проверку и экспертизу.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Абиотические факторы среды оказывают влияние на интенсивность и характер протекания биолого-физиологических процессов в растениях. Фотосинтез является очень важным процессом, который определяет уровень энергетических ресурсов и метаболитов, необходимых для роста и поддержания структур в растительной клетке. В литературе имеются данные, касающиеся влияния факторов среды на различные стороны фотосинтеза. К важнейшим стресс-факторам, лимитирующим рост и продуктивность растений, относится засоление [1, 2]. Отрицательное влияние засоления проявляется во всех физиологических процессах, однако, в разной степени. Изучение механизмов влияния высоких концентраций солей на фотосинтез в настоящее время является одним из актуальных вопросов эколого-физиологических исследований. Представляется, что устойчивость автотрофного организма, прежде всего, связана со способностью сохранять фотосинтетические системы в активном функциональном состоянии. В литературе показана различная степень влияния NaCl на интенсивность фотосинтеза многих растений [1–4].

Засоление задерживает прорастание семян, рост растений и значительно снижает их продуктивность. Отрицательное воздействие засоления обусловлено низким осмотическим потенциалом почвенного раствора, токсичностью ионов и дисбалансом питательных компонентов [13].

Засоление нарушает физиолого-биохимические процессы (водный статус, ионный и окислительно-восстановительный гомеостаз, баланс фитогормонов, проницаемость мембран) и, как следствие, тормозит рост растений [14]. Наиболее губительный эффект NaCl оказывает на ранних этапах развития растений.

В ходе исследования было установлено стимулирующее действие низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на накопление хлорофилла, об свидетельствуют данные, представленные на рис. 1.

Анализируя полученные нами данные, можем утверждать о том, что при хлоридном засолении накопление хлорофилла снижается по сравнению с контролем. Так, например, при концентрации 50 мМ NaCl содержание хлорофилла в листьях *Triticum aestivum* L. составляет 20,3 % массы сырого вещества листьев, когда в контроле концентрация хлорофилла составила 28,4 %. Под действием ЭМИ ММ диапазона показатели увеличиваются на 51,8 % по сравнению с растениями находящиеся в осмотическом стрессе, а по сравнению с контролем накопление хлорофилла увеличивается на 23,2 %. Как свидетельствуют данные, все концентрации хлорида натрия оказывают ингибирующее действие на накопление хлорофилла в листьях *Triticum aestivum* L. Так, при добавлении 100 мМ NaCl в питательную среду уменьшило накопления хлорофилла и составило 17,4 % массы сырого вещества, что на 39,1 % меньше по сравнению с контролем. При использовании предварительного облучения ЭМИ ММ – диапазона оказывает стимулирующий эффект на накопление хлорофилла и его содержание составило 30,9 %, что больше, чем в контрольном варианте на 46,6 %.

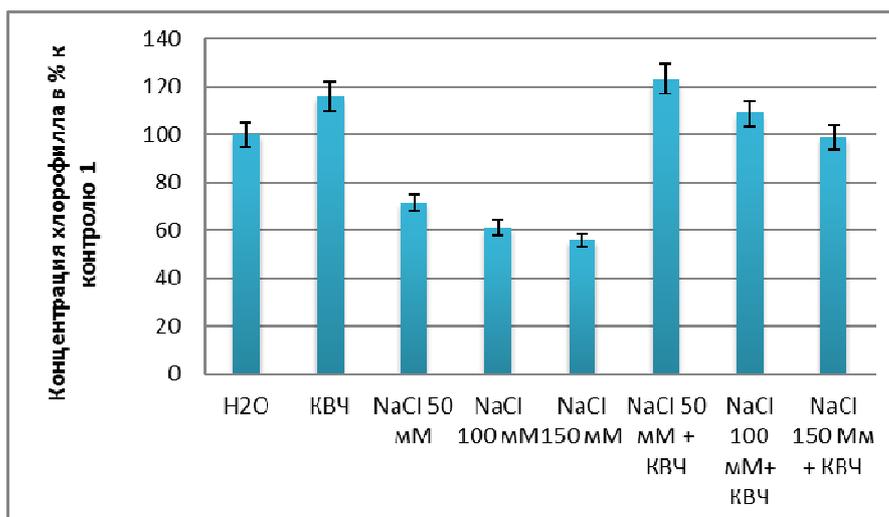


Рис. 1. .Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на содержание хлорофилла в листьях *Triticum aestivum* L. при хлоридном засолении.

Стимулирующий эффект электромагнитного излучения наблюдается и при концентрации 150 мМ хлорида натрия. С использованием KBЧ – излучений содержание хлорофилла составила 28,2 % массы сырых листьев, на 43,3 % по сравнению с опытными вариантами без применения KBЧ-излучений.

Из выше сказанного можно утверждать что ЭМИ мм – диапазона оказывает стимулирующий эффект на накопление хлорофилла.

В ходе исследования, при влиянии хлоридного засоления наблюдалось снижения интенсивности фотосинтеза (рис. 2). С повышением концентрации хлорида натрия показатели значительно снижались по отношению к контролю.

Анализируя полученные нами данные, мы можем отметить, что интенсивность фотосинтеза под действием KBЧ – излучений, повышается по отношению к контролю на 14,0 %. Под действием хлоридного засоления наблюдается снижение хлорофилла, что в свою очередь снижает интенсивность фотосинтеза. Так при 50 мМ NaCl продуктивность фотосинтеза составила 1,01 г/дм²/час, что на 40,0 % меньше по сравнению с растениями прошедшую предпосевную обработку KBЧ – излучениями.

При повышении содержания хлорида натрия в среде, интенсивность фотосинтеза *Triticum aestivum* L. снижается уже на 48 %. Уже при засолении в 150 мМ NaCl показатели составили 0,6 г/дм²/час, что на 56 % меньше контроля и на 70 % по сравнению с растениями прошедшие предварительное облучение без добавления хлорида натрия.

Так при минимальном засолении с концентрацией 50 мМ хлорида натрия получили следующие данные 1,37 г/дм²/час, что соответствует контролю и превышает продуктивность фотосинтеза растений, находящихся в осмотическом

стрессе на 26,1 %. Уже при 100 мМ интенсивность фотосинтеза равна 1,35 г/дм²/час, увеличивая опытный вариант без предварительного облучения на 33,2 %. Как свидетельствуют данные, с использованием предварительного облучения семян *Triticum aestivum* L. наблюдается повышение продуктивности фотосинтеза с использованием концентрации 150 мМ NaCl. Так интенсивность фотосинтеза составила 0,98 г/дм²/час и увеличивается по сравнению с опытными экземплярами, находящиеся в осмотическом стрессе, на 28,2 %.

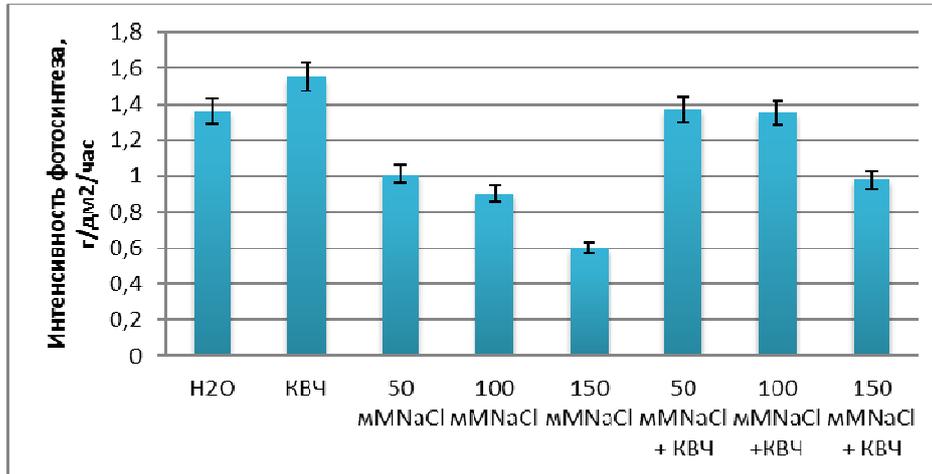


Рис. 2. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на интенсивность фотосинтеза *Triticum aestivum* L. в условиях хлоридного засоления.

Анализируя полученные данные, можем сделать вывод о том, что низкоинтенсивное электромагнитное излучение миллиметрового диапазона оказывает стимулирующий эффект на интенсивность фотосинтеза *Triticum aestivum* L. в условиях хлоридного засоления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено положительное действие низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на пигментный состав и фотосинтетическую активность *Triticum aestivum* L. как в оптимальных условиях, так и в условиях осмотического стресса. Полученные результаты по количественному содержанию хлорофиллов показали, что их содержание возросло как в нормальных условиях, так и при осмотическом стрессе в среднем на 20 %. Установлено повышение интенсивности фотосинтеза у опытных растений на 30,0 % по сравнению с контрольными растениями при осмотическом стрессе.

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

Список литературы

1. Сафина Г. Р. Государственное управление и охрана земельных ресурсов России на современном этапе: курс лекций. Часть 3. Дegradaция почв и земель. Мелиорация / Г. Р. Сафина, В. А. Федорова. – Казань: Казан. ун-т. – 2020. – 135 с.
2. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии. – 2013. – 756 с.
3. Lebedeva M. P. Soil forming processes and genetic diversity of *Haloxylon aphyllum* in the deserts of Uzbekistan. In the Book: Land Resources and Food security of Central Asia and Southern Caucasus / M. P. Lebedeva, E. V. Shuyskaya, K. N. Toderich // Eds: Pavel Krasilnikov, Maria Konyushkova and Ronald Vargas. – 2016. – P 370–394.
4. Чудинова Л. А. Физиология устойчивости растений: учеб. пособие к спецкурсу Ч 84 / Л. А. Чудинова, Н. В. Орлова – Перм. ун-т. – Пермь, 2006. – 124 с.
5. Духовский П. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров / П. Духовский, Р. Юкнис, А. Бразайтите, И. Жукаускайте // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 32. – С. 165–173.
6. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных растений. Клеточная селекция с ионами тяжёлых металлов: новые аспекты комплексной устойчивости / Е. И. Кошкин // Матер. X Международной конференции «Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология». – Казань, 2013. – С. 82.
7. Щуплецова О. Н. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путём клеточной селекции / О. Н. Щуплецова, И. Г. Широких // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 1. – С. 124–135.
8. Маслоброд С. Н. Влияние миллиметрового излучения на жизнеспособность растений. 1. Изменение метаболизма семян при воздействии фактора на сухие семена / С. Н. Маслоброд, Л. Б. Корлэтяну, А. И. Гаяя // Электронная обработка материалов. – 2010. – 46(5). – С. 93–105.
9. Калье М. И. Возможный механизм развития ответной реакции прорастающих семян зерновых культур на воздействие КВЧ-излучения / М. И. Калье // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2011. – № 5. – С. 332–340.
10. Александров В. В. Экологическая роль электромагнетизма / В. В. Александров – СПб.: Политех. Университет, 2010. – 736 с.
11. Калинин Н. Г. Влияние низкочастотного и высокочастотного электромагнитного поля на семена / Н. Г. Калинин, И. Л. Бошкова, Г. И. Панченко, С. Г. Коломийчук // Биофизика. – 2005. – Т. 50 (2) – С. 361–365.
12. Иванов Л. А. Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе / Л. А. Иванов, Н. А. Коссович // Ботан. журн. – 1946. – Т. 31, № 5. – С. 3–12.
13. Иванищев В. В. О механизмах солеустойчивости растений и специфике влияния засоления / В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2019. – Вып. 4. – С. 74–88.
14. Shokri-Gharelo R. Molecular response of canola to salt stress: insights on tolerance mechanisms / R. Shokri-Gharelo, P. M. Noparvar // PeerJ. – 2018. – V. 6 – e4822. <https://doi.org/10.7717/peerj.4822>.
15. Тамбиев А. Х. Общие закономерности действия КВЧ-излучения на фотосинтезирующие объекты. / А. Х. Тамбиев, Н. Н. Кирикова // В сб. докладов Международного симпозиума «Миллиметровые волны в биологии и медицине» – М.: ИРЭ РАН. – 2003. – С. 100–102.

INFLUENCE OF LOW-INTENSITY ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE MILLIMETER RANGE ON THE PIGMENTAL COMPOSITION AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF *TRITICUM AESTIVUM* L. UNDER CHLORIDE SALINATION

Chmeleva S. I., Dzheldubaeva E. R., Tumanyants K. N.

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

The purpose of this research was to study the effect of low-intensity electromagnetic radiation (EMP) of the millimeter (mm) range (wavelength – 7.1 mm, radiation frequency – 42.3 GHz, radiation power flux density – 0.1 mW / cm², exposure 30 minutes, once) on the pigment composition and photosynthetic activity of juvenile plants of *Triticum aestivum* L., cultivar Selyanka, under osmotic stress caused by chloride salinity.

To measure the intensity of photosynthesis, we used the assimilation flask method according to L. A. Ivanov and N. L. Kossovich, a colorimetric method was used to determine the amount of chlorophyll in wheat plants. Statistical processing of the data obtained was carried out using the Kruskal-Wallis test of reliability. All measurements and studies were carried out on equipment that passed metrological verification and expertise.

The results of the study indicate that under the influence of low-intensity EMR of the MM range, the indicators of the amount of chlorophylls increase by 51.8 % compared to plants under osmotic stress; and compared with the control, the accumulation of chlorophyll increases by 23.2 %. In addition, the effect of this physical factor has a stimulating effect on the accumulation of chlorophyll and its content was 30.9 %, which is 46.6 % more than in the control variant.

The stimulating effect of EMR is also observed at a concentration of 150 mM sodium chloride. With the use of EHF-radiation, the content of chlorophyll was 28.2 % of the mass of raw leaves, by 43.3 % compared to the experimental versions without the use of EHF-radiation.

The intensity of photosynthesis under the influence of EHF-radiation increases in relation to the control by 14.0 %.

Thus, a positive effect of low-intensity EMM of the mm range on the pigment composition and photosynthetic activity of *Triticum aestivum* L. both under optimal conditions and under conditions of osmotic stress has been established. The results obtained on the quantitative content of chlorophylls showed that their content increased both under normal conditions and under osmotic stress by an average of 20 %. An increase in the intensity of photosynthesis in experimental plants was established by 30.0 % in comparison with control plants under osmotic stress.

Keywords: millimeter-range low-intensity electromagnetic radiation, osmotic stress, pigments, chlorophyll, photosynthetic activity, *Triticum aestivum* L.

References

1. Safina G. R., Fedorov V. A. *State administration and protection of Russian land resources at present: lecture course. Part 3. Land and land degradation. Melioration*, 135 s. (Kazan: Kazan u.s., 2020).
2. *Scientific bases for preventing soil (land) degradation of Russian agricultural land and establishing fertility reproduction systems in adaptive and landscape agriculture: T. 1. Theoretical and methodological bases for preventing soil (land) degradation agricultural land. Collective monograph*. 756 s. (M.: Soils. in-t. V.V. Dokuchaeva Rosselkhozakademii, 2013).
3. Lebedeva M. P., Shuyskaya E. V., Toderich K. N. *Soil forming processes and genetic diversity of Haloxylon aphyllum in the deserts of Uzbekistan. In the Book: Land Resources and Food security of Central Asia and Southern Caucasus*, 370 (Eds: Pavel Krasilnikov, Maria Konyushkova and Ronald Vargas, 2016).
4. Chudinova L. A., Orlova N.V. *Plant Resistance Physiology: Training Manual for Special Course*, 84, 124 s. (Perm. un-t. Perm, 2006).
5. Dukovsky P., Yuknis R., Brazaitet A., Jukauskaitė I. Plant reaction to complex influence of natural and anthropogenic stressors, *Plant physiology.*, **50**, **32**, 165 (2003).
6. Koshkin E. I. *Physiology of the stability of agricultural plants. Cell breeding with heavy metal ions: new aspects of complex stability*, Mater. X International Conference «Plant Cell Biology in vitro and Biotechnology», 82 (Kazan, 2013).
7. Shchupletsova O. N., Krasnoy I. G. Increasing the resistance of cells to metal toxicity and osmotic stress by cell breeding, *Cereals of Russia*, **1**, 124 (2015).
8. Maslobrod C. N., Korlatchanu L. B., Ghana A. I. The influence of millimetre radiation on plant vitality. 1. Changes in the metabolism of seeds due to the influence of a factor on dry seeds, *Electronic processing of materials*, **46**(5), 93 (2010).
9. Kale M. I. Possible mechanism for developing a response of germinating seed crops to the effects of CF radiation, *Topical problems of the humanities and natural sciences*, **5**, 332 (2011).
10. Alexandrov V. V. *Ecological Role of Electromagnetism*, 736 s. (SPb.: Polytechnic. – University, 2010).
11. Ivanov L. A., Kossovich N. A. Field method for determining photosynthesis in assimilation flask, *Botan. Journ.*, **31**, **5**, 3 (1946).
12. Kalinin N. G., Boshkov I. L., Panchenko G. I., Kolomiychuk S. G. Influence of low frequency and high frequency electromagnetic field on seeds, *Biophysics*, **50** (2), 361 (2005).
13. Ivanishov V. V. On mechanisms of salt resistance of plants and specifics of influence of salinization, *News of Tula State University. Natural sciences*, **4**, 74 (2019).
14. Shokri-Gharelo R., Noparvar P. M. Molecular response of canola to salt stress: insights on tolerance mechanisms, *PeerJ.*, **6**, e4822 (2018). <https://doi.org/10.7717/peerj.4822>
15. Tambiyev A. X., Kirikov N. N. General patterns of action of HFC radiation on photosynthetic objects, *B. International Symposium on Millimetre Waves in Biology and Medicine*, 100 (M.: IREE RAS, 2003).

УДК 57.084.1

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-271-288

ПОКАЗАТЕЛИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С МЕТАЛЛАМИ

*Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А., Придатко А. И., Гришина Т. В.,
Раваева М. Ю., Чертаев И. В., Асанова Э. Р., Асанова А. Р.*

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

Исследовано действие ацетилсалициловой кислоты (АСК) и ее комплексных соединений с металлами лития (Li^+), калия (K^+), магния (Mg^{2+}) и кальция (Ca^{2+}) при однократном внутрибрюшинном введении в дозах 5, 10 и 20 мг/кг на показатели сердечно-сосудистой системы (ССС) крыс (артериальное давление, частота сердечных сокращений, показатели электрокардиограммы сердца). Анализ «структура-эффект» показал, что координационные соединения АСК, в которых помимо лиганда, обладающего биоактивными свойствами, присутствует металл-микроэлемент вызывают разнонаправленные изменения показателей ССС, что зависит как от металла, входящего в состав соединения, так и от дозы вводимого вещества.

Ключевые слова: ацетилсалициловая кислота, салицилаты металлов, сердечно-сосудистая система, частота сердечных сокращений, артериальное давление, электрокардиограмма сердца.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время внедрение в фармацевтическую практику новых технологий получения высокоактивных лекарственных средств позволило достичь некоторого прогресса в различных областях медицины, в том числе в лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС). Отчасти этого удалось добиться благодаря поиску и созданию новых эффективных соединений с применением комплексообразования с металлами – технологии, позволившей увеличивать и модифицировать биологическую активность уже известных медицинских препаратов.

В наших предыдущих исследованиях показано, что салицилаты металлов, имеющие в составе помимо ацетилсалициловой кислоты (АСК), комплексообразователи, в роли которых выступают катионы металлов кобальта (Co^{2+}), цинка (Zn^{2+}), марганца (Mn^{2+}) и никеля (Ni^{2+}), обладают не только более выраженными, но, зачастую, и качественно новыми по сравнению с АСК кардиотропными эффектами. При этом выраженность развивающегося эффекта

зависит не столько от действующей дозы тестируемых соединений, но, в большей степени, от входящего в комплексное соединение с АСК биметалла. В связи с этим перспективным является создание других координационных соединений с металлами различной валентности [1–3].

В связи с этим целью настоящего исследования явилось исследование влияния АСК и салицилатов лития (Li^+), калия (K^+), магния (Mg^{2+}) и кальция (Ca^{2+}) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг на показатели ССС крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

Для эксперимента отбирали здоровых половозрелых самцов лабораторных крыс массой 180–250 г. линии Вистар (возраст 26 недель), прошедших карантин не менее 14 дней. Животных содержали в стандартных условиях вивария при температуре 18–22 °С на подстилке «Рехофикс МК 2000» (на основе початков кукурузы) с естественным 12-часовым свето-темновым циклом, свободным доступом к воде (ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур») и полноценному гранулированному корму ГОСТ Р-50258-92. Протокол исследования соответствовал этическим принципам и нормам проведения биомедицинских исследований с участием животных и одобрен этическим комитетом по биоэтике ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 3 от 23. 03. 2021)

Экспериментальные исследования проводились на 160 крысах, характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля» [4], которые составляют большинство в популяции, и поэтому у них развивается наиболее типичная реакция на действие различных факторов [5], в том числе и химических соединений.

Тестируемые вещества были получены на кафедре общей и неорганической химии факультета биологии и химии Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» под руководством проф. Гусева А. Н. (химическая чистота составляла не менее 98,0 %) [6].

Исследования кардиотропных эффектов АСК и ее соединений с металлами лития, калия, магния и кальция проводили в дозах 5, 10 и 20 мг/кг. Обоснование выбора тестируемых доз приведено в нашей предыдущей работе [7].

Для исследования животных после предварительного отбора разделили на 16 групп по 10 крыс в каждой.

1 группа – контрольная (К) – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции физиологического раствора (NaCl , 0,9 %), объем 0,2 мл;

2–4 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции АСК в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

5–7 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции салицилата лития (CLi^+) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

8–10 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции салицилата калия ($СК^+$) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

11–13 группы – животные, которым производились внутрибрюшинные инъекции салицилата магния ($СMg^{2+}$) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл;

14–16 группы животных, которым производились внутрибрюшинные инъекции салицилата кальция ($ССa^{2+}$) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, объем 0,2 мл.

Биоскрининг тестируемых салицилатов проводился через 20 минут после внутрибрюшинного введения соединений в указанных дозах, поскольку в этот период наблюдается максимальная их концентрация в крови [8].

У животных всех групп с помощью системы NIBP200A («Biopac Systems, Inc.», США) регистрировали следующие показатели ССС: частоту сердечных сокращений (ЧСС); систолическое артериальное давление (САД); диастолическое артериальное давление (ДАД). После регистрации рассчитывали пульсовое артериальное давление (ПАД; разница показателей САД и ДАД).

Для оценки реакции сердца у крыс регистрировали ЭКГ во II стандартном отведении в течение 5 минут на компьютерном полиграфе «Biopac MP-150» («Biopac Systems, Inc.», США) в условиях ингаляционного изофлуранового наркоза. Временные значения интервалов ЭКГ указывали в секундах.

Методика исследования и анализа показателей ССС у животных подробно описана в нашей предыдущей работе [7, 9].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программ «Statistica 8.0» (StatSoft, США) и «Microsoft Excel 2016». Осуществляли проверку распределения данных на нормальность с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Поскольку распределение данных у большинства исследуемых групп не соответствовало закону нормального распределения, значимость различий между группами оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна – Уитни. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Расчет коэффициента эффективности (КЭ) биологического действия соединений АСК с металлами по сравнению с молекулой предшественницей (АСК) проводился по формуле [7]: $КЭ = (АС_{мет.} - АСК)/АСК$, где $АС_{мет.}$ – показатели, зарегистрированные у животных при введении салицилатов металлов (средние значения измерений в 3–6 группах); АСК – показатели, зарегистрированные у животных при введении ацетилсалициловой кислоты (средние значения измерений во 2 группе).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение артериального давления у крыс после введения тестируемых соединений.

Как показали проведенные исследования, у животных контрольной группы при введении физиологического раствора исследуемые показатели АД находились в пределах физиологической нормы: САД – $113,18 \pm 0,76$ мм рт. ст.;

ДАД – $72,79 \pm 1,52$ мм рт. ст.; ПАД – $39,82 \pm 1,80$ мм рт. ст., что согласуется с результатами наших и других экспериментальных исследований [7, 10–12].

При введении животным АСК в дозах 5 и 10 мг/кг не было отмечено статистически значимых ($p > 0,05$) изменений показателей АД, однако увеличение дозы данного вещества до 20 мг/кг привело к достоверному увеличению САД на 8,60 % ($p \leq 0,05$) на фоне снижения ДАД на 13,14 % ($p \leq 0,05$), и, как следствие – к выраженному увеличению ПАД на 52,61 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этих показателей в контрольной группе крыс (рис. 1), что согласуется с нашими данными ранее опубликованных исследований [7].

При этом значение САД после введения АСК дозе 20 мг/кг было на 9,52 % ($p \leq 0,05$) и на 4,98 % ($p \leq 0,05$) выше по сравнению с таковым, регистрируемым при введении животным АСК в дозах 5 и 10 мг/кг соответственно. Значение ДАД у животных, которым вводили АСК в дозе 20 мг/кг, напротив, оказалось на 12,40 % ($p \leq 0,05$) ниже относительно такового при использовании АСК в дозе 10 мг/кг, а ПАД достоверно выше относительно значения этого показателя при использовании АСК 5 мг/кг на 49,67 % ($p \leq 0,05$) и АСК 10 мг/кг на 42,70 % ($p \leq 0,05$).

Анализ «структура-эффект» показал, что координационные соединения АСК, в которых помимо лиганда, обладающего биоактивными свойствами, присутствует металл-микроэлемент вызвали два типа изменений компонентов АД.

Первый из них характерен для животных, которым вводили *салицилат Li* (CLi^+). При введении животным CLi^+ в дозе 5 мг/кг статистически значимых изменений САД не наблюдалось ($p > 0,05$), однако, в отличие от АСК, произошло снижение ДАД на 12,68 % ($p \leq 0,05$) на фоне увеличения ПАД на 15,80 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этих показателей в контрольной группе животных (см. рис. 1). При этом ДАД оказалось на 8,97 % ($p \leq 0,05$) ниже такового у крыс, получавших АСК в той же дозе, а ПАД, напротив, выше на 13,57 % ($p \leq 0,05$), о чем свидетельствует КЭ (рис. 2 – Б, В).

При увеличении дозы тестируемого соединения до 10 мг/кг отмечено статистически значимое увеличение САД на 7,22 % ($p \leq 0,05$) относительно значений этого показателя в контрольной группе животных, при этом изменение ДАД и ПАД не носили статистически значимого характера ($p > 0,05$) (см. рис. 1).

После введения CLi^+ в дозе 20 мг/кг зарегистрировано однонаправленное увеличение САД и ДАД в среднем на 9,59 % ($p \leq 0,05$) относительно значений этих показателей в контрольной группе крыс (см. рис. 1 – А, Б). При этом введение CLi^+ в дозе 20 мг/кг привело к статистически значимому увеличению ДАД на 26,43 % ($p \leq 0,05$) на фоне снижения ПАД на 27,49 % ($p \leq 0,05$) относительно значений у крыс, получавших АСК. Подтверждением этому является КЭ, который составил для ДАД +0,26 и ПАД – 0,27 (см. рис. 2 – Б, В).

Второй тип реакций АД, заключающийся в снижении всех его компонентов, развивался у крыс на введение остальных салицилатов во всех тестируемых дозах. Так, в отличие от АСК и CLi^+ , *после введения животным SK^+* во всех тестируемых дозах отмечалось статистически значимое снижение всех компонентов АД, как по отношению к значениям в контрольной группе (см. рис. 1), так и у животных, получавших АСК, о чем свидетельствуют отрицательные КЭ (см. рис. 2).

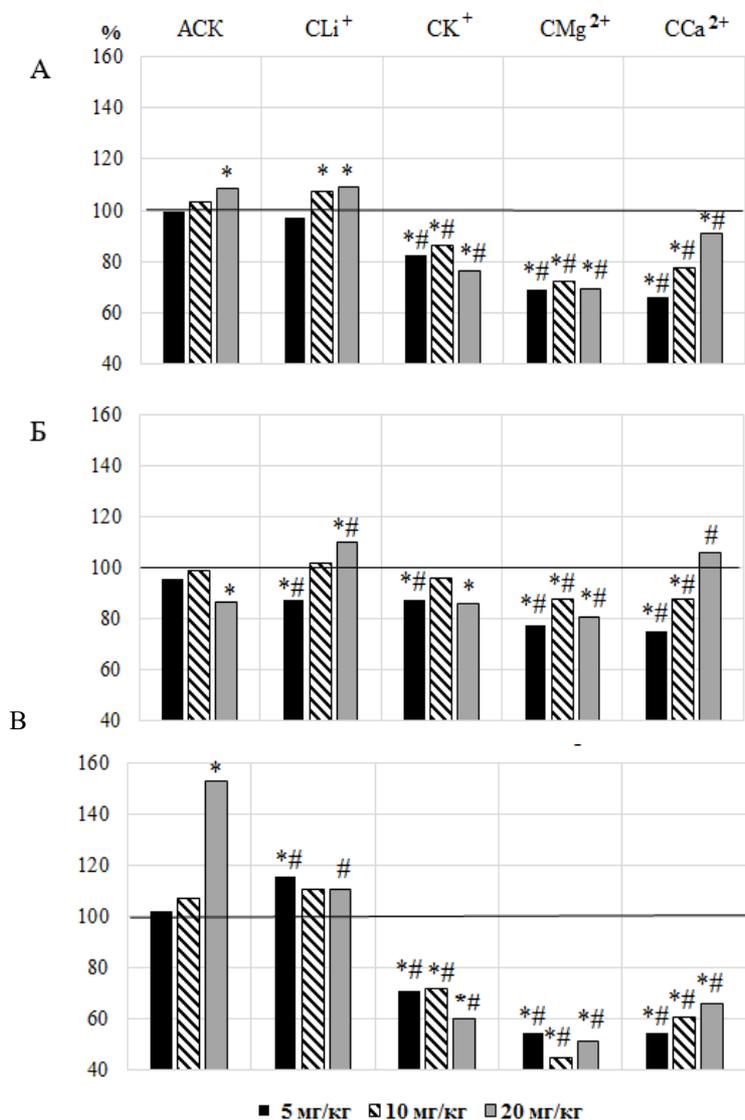


Рис. 1. Изменение систолического (А), диастолического (Б) и пульсового (В) артериального давления у животных после введения им ацетилсалициловой кислоты (АСК) и салицилатов лития (CLi⁺), калия (СК⁺), магния (СMg²⁺) и кальция (ССа²⁺) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг (в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 %).

Примечания: * – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни относительно значений показателей в контроле; # – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни относительно значений показателей в группе животных, которым вводили ацетилсалициловую кислоту (АСК).

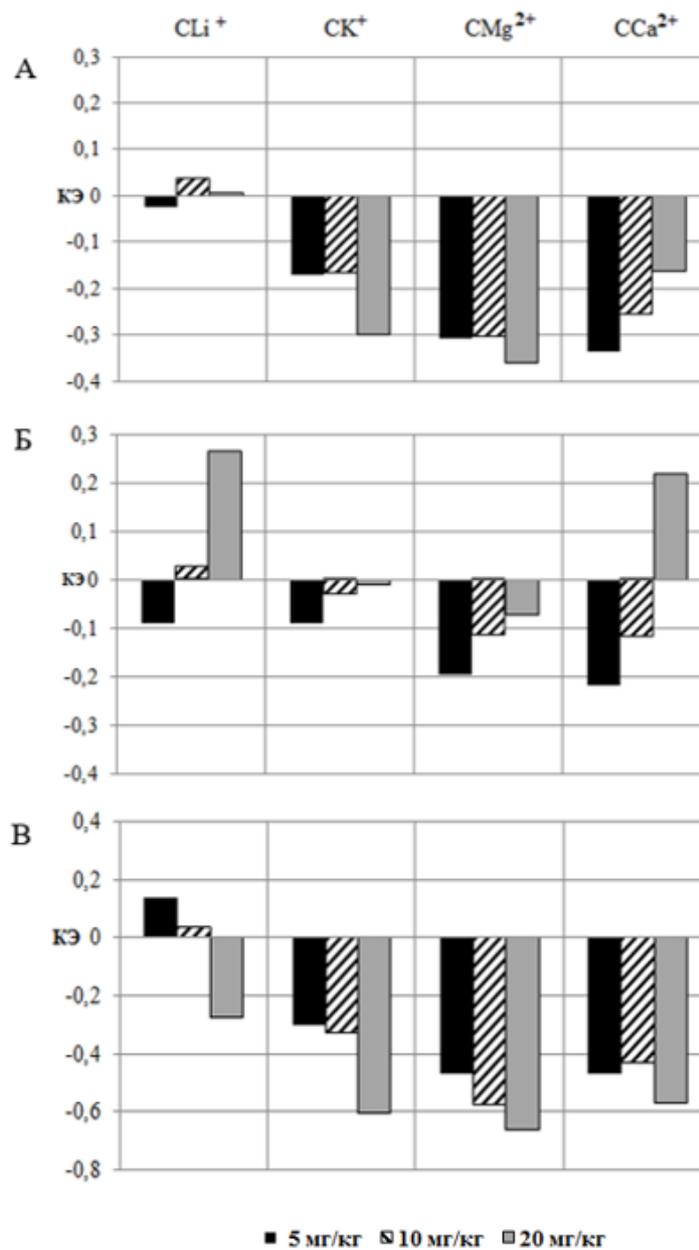


Рис. 2. Коэффициент эффективности (КЭ) показателей систолического (А), диастолического (Б) и пульсового (В) артериального давления при введении животным салицилатов лития (CLi^+), калия ($СК^+$), магния (CMg^{2+}) и кальция ($ССа^{2+}$) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг в сравнении со значениями этих показателей у животных при введении АСК в тех же дозах.

При введении животным SMg^{2+} в тестируемых дозах происходили изменения показателей АД у крыс, причем, отличные как от АСК, так и от CLi^+ , что выражалось в достоверном снижении САД, ДАД и ПАД, как относительно значений этих показателей в контрольной группе, так и у животных, получавших инъекции АСК (см. рис. 1, 2). Так, при введении животным SMg^{2+} в дозе 5 мг/кг зарегистрировано достоверное снижение САД на 31,18 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 22,75 % ($p \leq 0,05$), ПАД на 45,58 % ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям данного показателя в контрольной группе животных (см. рис. 1). При увеличении дозы SMg^{2+} до 10 мг/кг также наблюдалось статистически значимое снижение значений САД на 27,69 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 12,22 % ($p \leq 0,05$) и, как следствие – выраженное снижение значений ПАД на 54,93 % ($p \leq 0,05$) относительно значений исследуемых показателей у животных контрольной группы (см. рис. 1). При введении данного вещества в дозе 20 мг/кг отмечено статистически значимое снижение значений показателей АД относительно значений этих показателей в контрольной группе животных (см. рис. 1).

Наблюдались и достоверные различия между значениями показателей АД при введении SMg^{2+} и АСК в дозах 5, 10 и 20 мг/кг (см. рис. 2). При этом САД, ДАД и ПАД оказались ниже таковых у крыс, получавших АСК в тестируемых дозах, о чем свидетельствует отрицательный КЭ (рис. 2).

При введении животным $ССа^{2+}$ произошли дозозависимые изменения со стороны АД, причем наиболее выраженные в дозе 5 мг/кг. Так, после однократного введения животным $ССа^{2+}$ в дозе 5 мг/кг наблюдалось статистически значимое снижение значений САД на 34,26 % ($p \leq 0,05$) и 33,71 % ($p \leq 0,05$), ДАД на 24,98 % ($p \leq 0,05$) и на 21,80 % ($p \leq 0,05$), и как следствие – выраженное снижение значений ПАД на 45,59 % ($p \leq 0,05$) и на 46,64 % ($p \leq 0,05$), как относительно значений исследуемых показателей у животных контрольной группы, так у животных, получавших инъекции АСК, что подтверждается отрицательным КЭ (см. рис. 1 – А, Б, В). При введении тестируемого соединения в дозе 10 мг/кг отмечено также статистически значимое снижение всех компонентов АД, как по отношению к значениям в контрольной группе, так и у животных, получавших АСК (см. рис. 1, рис. 2). Однако при увеличении дозы $ССа^{2+}$ до 20 мг/кг на фоне снижения САД на 8,85 % ($p \leq 0,05$) и ПАД на 34,15 % ($p \leq 0,05$) относительно значений в контроле зарегистрирована тенденция к увеличению ДАД ($p > 0,05$) (см. рис. 1).

Зарегистрировано достоверное снижение САД на 16,07 % ($p \leq 0,05$) и ПАД на 56,85 % ($p \leq 0,05$) относительно значений, зарегистрированных в группе животных, получавших инъекции АСК в этой же дозе (см. рис. 1 – А, В), что отражено в отрицательном значении КЭ (см. рис. 2 – А, В). Однако при сравнении эффективности $ССа^{2+}$ с эталонным веществом обращает на себя внимание реакция на тестируемое соединение со стороны ДАД, которое повысилось относительно значений у крыс, которым вводили АСК на 21,69 % ($p \leq 0,05$), о чем свидетельствует и положительный КЭ (см. рис. 2 – В).

Следует отметить, что изменение ДАД у животных, которым вводили $ССа^{2+}$ имело дозозависимость. При этом ДАД у животных при введении $ССа^{2+}$ в дозе

20 мг/кг было на 40,91 % ($p \leq 0,05$) больше по сравнению с таковой у крыс при введении того же соединения в дозе 5 мг/кг.

Таким образом, соединения АСК с металлами лития, калия, магния и кальция вызывают разнонаправленные изменения показателей артериального давления, которые зависели как от металла, входящего в состав соединения, так и от дозы вводимого вещества. В частности, нами выделено два типа реакций ССС животных со стороны изменений АД: первый тип развивался у группы животных, получавших CLi^+ во всех тестируемых дозах и проявлялся в увеличении показателей АД, а второй тип – у крыс на введение салицилатов калия, магния и кальция во всех тестируемых дозах и заключался в снижении всех компонентов АД, за исключением ДАД у животных после введения SSa^{2+} в дозе 20 мг/кг.

Изменение частоты сердечных сокращений у крыс после введения тестируемых соединений.

У животных контрольной группы при введении физиологического раствора ЧСС составила $401,84 \pm 4,63$ ударов в минуту, что согласуется с результатами наших и других экспериментальных исследований [7, 10–12].

Под влиянием АСК в дозах 5, 10 и 20 мг/кг у крыс зарегистрировано снижение ЧСС в среднем на 17,61 % ($p \leq 0,05$) относительно значений в контрольной группе крыс, которое не зависело от дозы (рис. 3 – А).

Аналогично АСК, после введения $СК^+$, $СMg^{2+}$, $ССa^{2+}$ во всех исследуемых дозах и CLi^+ в дозе 5 мг/кг наблюдалось статистически значимое снижение значений ЧСС, наиболее выраженное после введения $СMg^{2+}$ в дозе 20 мг/кг на 27,52 % ($p \leq 0,05$) относительно значений в контроле (см. рис. 3 – А) и на 12,84 % ($p \leq 0,05$) относительно сердечного ритма у животных, получавших АСК, подтверждением чему является отрицательный КЭ (см. рис. 3 – Б). Исключение составили животные, которым вводили CLi^+ в дозах 10 и 20 мг/кг, у которых наблюдалась тенденция к снижению ЧСС относительно значений в контроле ($p > 0,05$). Однако у крыс этих групп значения данного показателя достоверно превышали таковые у животных, которым вводили АСК в тех же дозах в среднем на 12,96 % ($p \leq 0,05$), о чем свидетельствует положительный КЭ (см. рис. 3).

Изменение показателей ЭКГ под влиянием тестируемых соединений.

Регистрация ЭКГ у животных контрольной группы позволила определить длительность комплекса QRS – $0,04 \pm 0,02$ сек., интервала QT – $0,09 \pm 0,01$ сек., что согласуется с результатами наших и других экспериментальных исследований [8, 9].

Однократное внутривенное введение АСК во всех дозах привело к увеличению *длительности комплекса QRS* в среднем на 25,00 % ($p \leq 0,001$) (рис. 4 – А), что согласуется с результатами наших предыдущих исследований [9].

В отличие от АСК, салицилаты CLi^+ , $СК^+$, $СMg^{2+}$, $ССa^{2+}$ существенно снижали длительность данного комплекса, как относительно контроля, так и группы животных, получавших АСК (рис. 4 – А). Наиболее выраженное уменьшение длительности комплекса QRS наблюдали после введения крысам $СMg^{2+}$ в дозе 20 мг/кг – на 75,00 % ($p \leq 0,05$) относительно контрольных значений и на 80,00 %

($p \leq 0,05$), относительно значений, зарегистрированных в группе животных, получавших АСК.

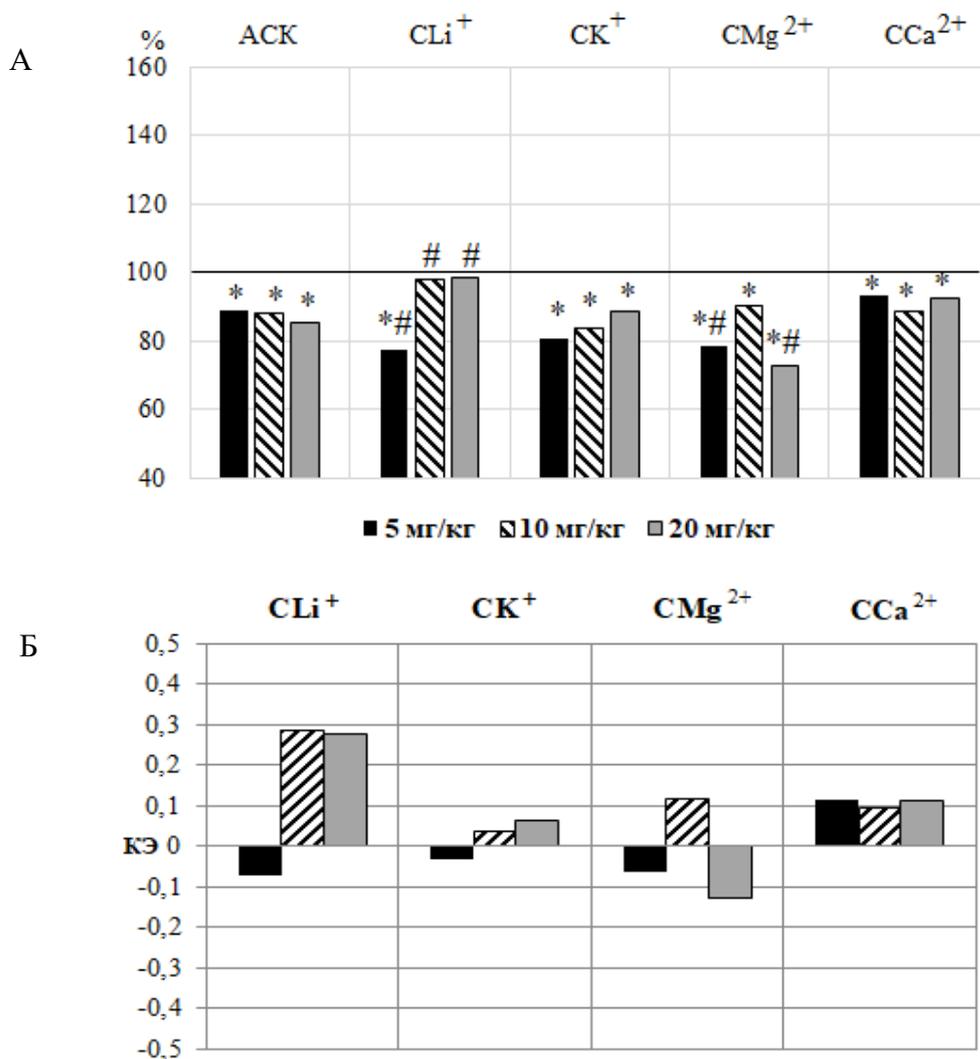


Рис. 3. Изменение частоты сердечных сокращений у животных после введения им ацетилсалициловой кислоты (АСК) и салицилатов лития (CLi⁺), калия (СК⁺), магния (CMg²⁺) и кальция (ССа²⁺) в дозах 5, 10 и 20 мг/кг, выраженное в % относительно значений в контрольной группе животных, принятых за 100 % (А) и коэффициента эффективности (КЭ) в сравнении со значениями этого показателя у животных при введении ацетилсалициловой кислоты (Б).

Примечание: обозначения те же, что на рис. 1.

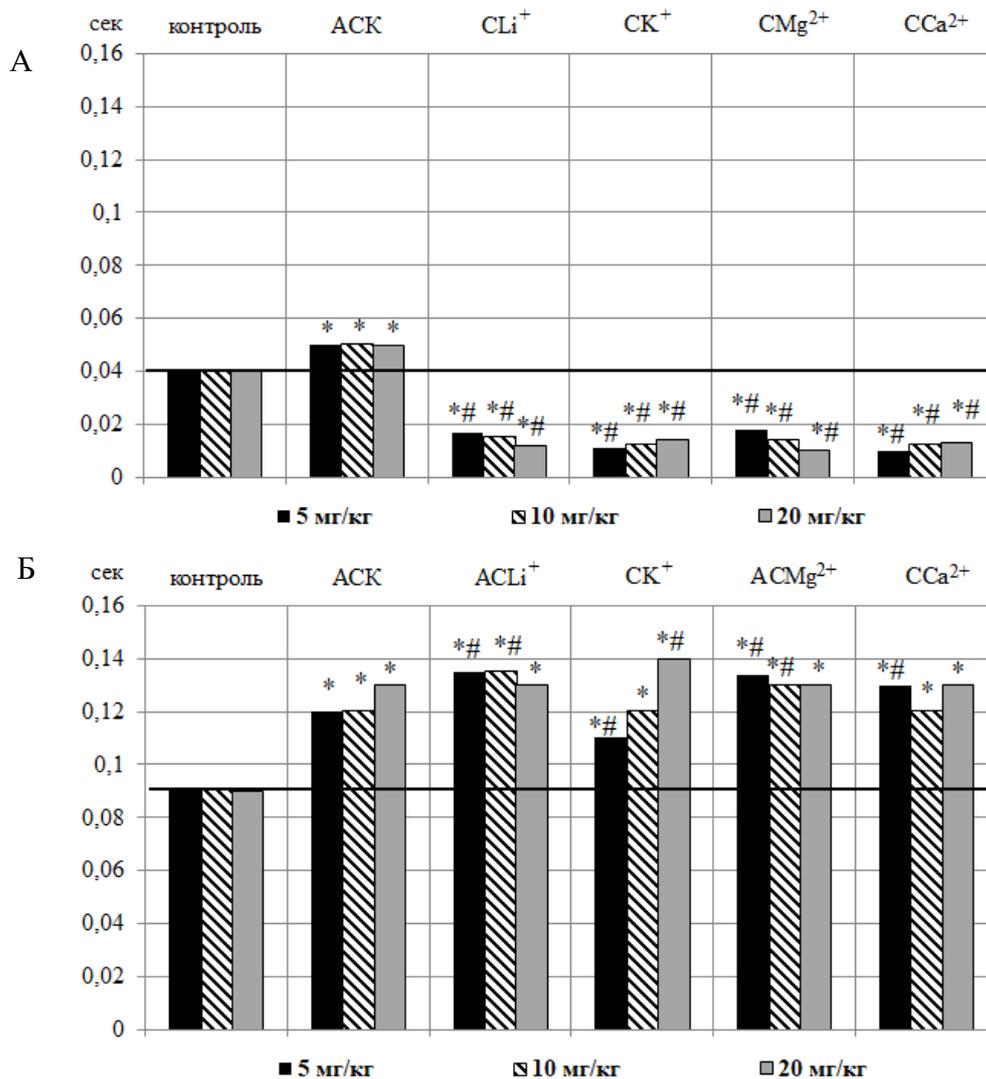


Рис. 4. Изменение длительности комплекса QRS (А) и интервала QT (Б) в секундах на электрокардиограмме животных при введении ацетилсалициловой кислоты (АСК) и салицилатов лития (CLi⁺), калия (CK⁺), магния (CMg²⁺) и кальция (CCa²⁺) в дозах 5, 10, 20 мг/кг.

Примечание: те же, что на рис. 1.

Анализ длительности интервала QT продемонстрировал рост данного показателя у животных после введения АСК во всех тестируемых дозах относительно контроля (рис. 4 – Б).

Аналогичные изменения интервала QT наблюдались и у животных после введения им салицилатов CLi⁺, CK⁺, CMg²⁺ и CCa²⁺ во всех исследуемых дозах.

Необходимо отметить, что удлинение интервала QT на ЭКГ крыс после введения им CLi^+ (5 и 10 мг/кг), $СК^+$ (5 и 20 мг/кг), $СMg^{2+}$ (5 и 10 мг/кг) и $ССа^{2+}$ (5 мг/кг) выражено в достоверно большей степени, чем у животных, которым вводили АСК. Наиболее выраженное увеличение длительности данного интервала наблюдалось у животных после введения $СК^+$ в дозе 20 мг/кг на 55,55 % ($p \leq 0,05$) относительно значений в контроле и на 7,69 % ($p \leq 0,05$) относительно значений данного показателя у животных, получавших АСК (см. рис. 4 – Б).

Таким образом, АСК привела к однонаправленному увеличению длительностей комплекса QRS и интервала QT относительно значений этих показателей у животных контрольной группы. После введения животным салицилатов CLi^+ , $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССа^{2+}$ во всех исследуемых дозах наблюдалось статистически значимое уменьшение длительности комплекса QRS относительно значений этого показателя в контроле, однако его существенное удлинение по сравнению с ЭКГ крыс, которым вводили АСК. Длительности интервала QT после введения животным салицилатов CLi^+ , $СК^+$, $СMg^{2+}$, $ССа^{2+}$ во всех исследуемых дозах увеличивалась аналогично с АСК.

Как показали проведенные исследования, однократное внутрибрюшинное введение крысам АСК оказывало влияние на АД только в дозе 20 мг/кг, вызывая повышение САД на фоне снижения ДАД, что согласуется с данными наших исследований [7] и результатами экспериментов, в которых АСК также не вызывала значимых влияний на АД [13, 14].

Увеличение САД было характерно и для CLi^+ , которое в дозе вещества 20 мг/кг, в отличие от АСК, сопровождалось достоверным увеличением ДАД. Таким образом, CLi^+ при увеличении дозы обладает гипертензивным эффектом, более выраженным, чем АСК в той же дозе.

Напротив, введение $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССа^{2+}$ во всех дозах вызывало снижение АД у экспериментальных животных, что свидетельствует о гипотензивном действии этих соединений и подтверждается данными других исследований. В частности, известно, что магний увеличивает продукцию простагландина E, образуя кооперативную связь с калием, действует как естественный блокатор кальциевых каналов и вызывает эндотелий-зависимую вазодилатацию и снижение АД [15].

В клиническом исследовании показано, что пероральный прием добавок калия достоверно снижает как САД, так и ДАД (на 5,9 и 3,4 мм рт. ст., соответственно) [16]. Метаанализ 19 исследований (586 человек, из них 412 – с артериальной гипертензией) показал связь между выраженностью гипотензивного эффекта и длительностью приема калия. Было продемонстрировано снижение АД в среднем на 5,9/3,4 мм рт. ст. при использовании таблетированных препаратов калия [17], в связи с чем рекомендовано увеличение потребления калия у пациентов без высокого риска развития гиперкалиемии с целью профилактики и лечения артериальной гипертензии [18].

Важно отметить, что Ca^{2+} снижает активность ренин-ангиотензиновой системы и оптимизирует натрий-калиевый баланс, что, в свою очередь, может быть потенциальным механизмом снижения АД [19]. Причем, одним из важных эффектов кальций-зависимых рецепторов – это регуляция сосудистого тонуса и АД,

которое осуществляется через модуляции гомеостаза кальция. Показано, что стимуляция этих рецепторов вызывает продукцию оксида азота, являющегося мощным вазодилататором.

Таким образом, в наших исследованиях координационные соединения АСК, в которых помимо лиганда, обладающего биоактивными свойствами, присутствует металл-микроэлемент вызвали разнонаправленные изменения компонентов АД у животных экспериментальных групп.

Результаты анализа изменения ЧСС свидетельствуют о том, что введение животным АСК в тестируемых дозах оказывает отрицательный хронотропный эффект, что может быть связано со способностью АСК ингибировать простагландины (PGF₂ и PGE₂) клетками гладкой мускулатуры кровеносных сосудов и увеличением вагусных влияний на сердце [20].

Введение крысам Cl^{-} в дозе 5 мг/кг и Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} во всех исследуемых дозах привело к уменьшению ЧСС, т.е. отрицательному хронотропному эффекту, свойственному АСК. Однако при введении салицилата лития в дозах 10 и 20 мг/кг наблюдалась лишь тенденция к снижению ЧСС относительно значений этого показателя в контроле ($p > 0,05$).

Объективно оценить механизмы изменения ЧСС у лабораторных животных под влиянием АСК и ее производных возможно в результате анализа ЭКГ, который позволяет получить представление об интегральных характеристиках деятельности ССС и межсистемных механизмах регуляции, в связи с чем является значимым в экспериментальной физиологии, патофизиологии, клинических и доклинических исследованиях и имеет широкие перспективы, как при оценке эффективности различных лекарственных препаратов, так и фармакологической безопасности и кардиотоксичности новосинтезированных химических соединений.

Анализ продолжительности комплекса QRS, имеющего ведущее значение для оценки функции миокарда и отражающего время и характер распространения деполяризации по миокарду желудочков [21], показал, что после введения животным АСК во всех исследуемых дозах отмечено статистически значимое увеличение длительности комплекса QRS относительно значений этого показателя в контрольной группе животных. Необходимо отметить, что удлинение данного комплекса на ЭКГ крыс этой группы наблюдалось на 0,01 секунды (на 25 %) по сравнению с контролем, тогда как, согласно данным литературы, увеличение длительности QRS на 40 % и более является маркером межжелудочковой и/или внутрижелудочковой десинхронизации [22], независимым предиктором желудочковых аритмий [23], а, следовательно, кардиальных заболеваний [24]. Поэтому можно предположить, что изменение продолжительности комплекса QRS у животных при введении АСК связано со снижением ЧСС [25].

Противоположная реакция изменения длительности комплекса QRS, выражающаяся в его укорочении, наблюдалась после введения животным салицилатов лития, калия, магния и кальция во всех исследуемых дозах. Причины укорочения комплекса QRS на ЭКГ к настоящему моменту до конца не исследованы. Имеются лишь данные, что укорочение данного комплекса ЭКГ может быть свидетельством ускоренной деполяризации миокарда и, следовательно,

трансмуральной активации, что может вызвать электрическую нестабильность миокарда [26, 27].

Анализ длительности интервала QT (электрическая систола сердца), который отражает сумму процессов деполяризации и последующей реполяризации миокарда желудочков [21] показал, что после введения крысам АСК и салицилатов лития, калия, магния и кальция во всех исследуемых дозах наблюдалось статистически значимое увеличение длительности интервала QT относительно контроля.

Следует отметить, что в последние годы растет интерес исследователей и клиницистов к влиянию лекарственных препаратов на интервал QT, поскольку сильное укорочение или удлинение интервала QT свидетельствует о нарушении синхронизации процесса реполяризации, что является сильным аритмогенным фактором, приводящим к возникновению желудочковых аритмий [28]. Удлинение электрической систолы желудочков в том числе может наблюдаться при отравлении лекарствами и веществами, оказывающими кардиотоксическое действие и замедляющими процессы реполяризации [29].

Длительность интервала QT не является постоянной величиной и носит нелинейный обратно пропорциональный характер изменению ЧСС, поэтому удлинение этого интервала у крыс под влиянием исследуемых салицилатов может быть связано с отрицательным хронотропным эффектом. При этом в литературе подробно описано удлинение интервала QT с последующим развитием брадикардии под действием разных лекарственных препаратов. Механизмом этого явления считают пролонгирование фазы реполяризации, которая индуцирует ранние постдеполяризации и пространственную дисперсию рефрактерности [30].

Полученные данные подтверждают кардиотропную эффективность новых координационных соединений, показывают дозовую зависимость этих эффектов и открывают перспективность дальнейших исследований их биологического действия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ «структура-эффект» показал, что координационные соединения АСК, в которых помимо лиганда, обладающего биоактивными свойствами, присутствует металл-микроэлемент вызывают разнонаправленные изменения показателей ССС, что зависит как от металла, входящего в состав соединения, так и от дозы вводимого вещества.
2. Соединения АСК с металлами лития, калия, магния и кальция вызывают два типа изменений показателей артериального давления: первый развивается у животных, которым вводили $СLi^+$ во всех тестируемых дозах и проявляется в увеличении показателей артериального давления; второй – у крыс после введения салицилатов калия, магния и кальция во всех тестируемых дозах и заключается в снижении всех компонентов АД, за исключением ДАД у животных после введения $ССa^{2+}$ в дозе 20 мг/кг.
3. Введение крысам $СLi^+$ в дозах 10 и 20 мг/кг вызывает тенденцию, а $СLi^+$ в дозе 5 мг/кг, $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССa^{2+}$ во всех исследуемых дозах приводит к

уменьшению ЧСС, т.е. отрицательному хронотропному эффекту, свойственному АСК.

4. АСК приводит к однонаправленному увеличению длительностей комплекса QRS и интервала QT на ЭКГ животных относительно значений этих показателей у животных контрольной группы. После введения животным салицилатов $СLi^+$, $СК^+$, $СMg^{2+}$ и $ССa^{2+}$ во всех исследуемых дозах наблюдается статистически значимое уменьшение длительности комплекса QRS относительно значений этого показателя в контроле, однако его существенное удлинение по сравнению с ЭКГ крыс, которым вводили АСК. Длительность интервала QT после введения животным салицилатов $СLi^+$, $СК^+$, $СMg^{2+}$, $ССa^{2+}$ во всех исследуемых дозах увеличилась аналогично с АСК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-33-70142 на экспериментальном оборудовании центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврической академии (структурное подразделение) ФГАОУВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Алёхин Е. К. Аспирин: новая жизнь старого лекарства / Е. К. Алёхин // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – Т. 5, № 7. – С. 85–90.
2. Григорьева А. С. Оптимизация фармакотерапевтической активности биометаллов при комплексообразовании с НПВП / А. С. Григорьева // Микроэлементы в медицине. – 2000. – Т. 2, № 1. – С. 17–22.
3. Sokolik J. Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimethylsalicylates and their equimolar mixture / J. Sokolik, I. Tumova, M. Blahova // Acta Facult. Farm. Univ. comeniana. – 2006. – Vol. 53, No 1. – P. 224–228.
4. Hall C. S. Emotional behavior in the rat. III. The relationship between emotionality and ambulatory activity / C. S. Hall // Journal of Comparative Psychology. – 1936. – Vol. 22, No 3. – P. 345–352. <http://dx.doi.org/10.1037/h0059253>.
5. 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.
6. Gusev A. Mn (II), Co(II), Ni(II) and Zn salicylates: Synthesis, structure and biological properties studies / A. Gusev, Y. Baluda, E. Braga, M. Kryukova, M. Kiskin, E. Chuyan, M. Ravaeva, I. Cheretaev, W. Linert // Inorganica Chimica Acta 528. – 2021. – Article 120606. Doi: 10.1016/j.ica.2021.120606.
7. Чуян Е. Н. Дозозависимые кардиотропные эффекты ацетилсалицилатов / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, М. Ю. Раваева, И. В. Черетаев, Т. В. Гришина, Р. Н. Аблаева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 4. – С. 175–196. Doi: 10.37279/2413-1725-2020-6-4-175-196.
8. Хабриев Р. У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / Хабриев Р. У. – М.: Медицина, 2005. – 832 с.
9. Миронюк И. С. Изменение показателей ЭКГ крыс под влиянием ацетилсалициловой кислоты и ее комплексных соединений с металлами / И. С. Миронюк, Е. А. Бирюкова, Е. Н. Чуян, А. Р. Асанова // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 25–33.
10. Куркин Д. В. Влияние наркотизации хлоралгидратом на выживаемость животных при перевязке общих сонных артерий / Д. В. Куркин // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 1. – С. 23–29.

11. Береснева О. Н. Комбинированное влияние возраста и сокращения массы действующих нефронов на ремоделирование миокарда у крыс / О. Н. Береснева, М. М. Парастаева, Н. В. Швед, Г. Т. Иванова, А. Г. Кучер, И. Г. Каюков, А. В. Смирнов // *Нефрология*. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 100–107.
12. Шляхто Е. В. Противоишемическое и антиаритмическое действие ингибитора ангиотензин-превращающего фермента зофеноприла при острой ишемии миокарда в эксперименте / Е. В. Шляхто, М. М. Галагудза, И. О. Блохин, В. А. Цырлин, А. В. Сыренский, Е. И. Егорова, Е. М. Нифонтов // *Артериальная гипертензия*. – 2006. – Т. 12, № 3. – С. 237–242. Doi: 10.18705/1607-419X-2006-12-3-237-242.
13. Tauseef M. Aspirin restores normal baroreflex function in hypercholesterolemic rats by its antioxidative action / M. Tauseef, K. K. Sharma, M. Fahim // *Eur. J. Pharmacol.* – 2007. – Vol. 556, No 1–3. – P. 136–143. Doi: 10.1016/j.ejphar.2006.11.029.
14. Tjonahen E. Resolvin E2: identification and anti-inflammatory actions: pivotal role of human 5-lipoxygenase in resolvin E series biosynthesis / E. Tjonahen, S. F. Oh, J. Siegelman, S. Elangovan, K. B. Percarpio, S. Hong, M. Arita, C. N. Serhan // *J. Chem. Biol.* – 2006. – Vol. 13, No 11. – P. 1193–1202. Doi: 10.1016/j.chembiol.2006.09.011.
15. Houston M. C. Potassium, magnesium, and calcium: their role in both the cause and treatment of hypertension / M. C. Houston, K. J. Harper // *J Clin Hypertens (Greenwich)*. – 2008. – Vol. 10, No 7, suppl 2. – P. 2–11.
16. D'Elia L. Potassium intake, stroke, and cardiovascular disease a meta-analysis of prospective studies / L. D'Elia, G. Barba, F. P. Cappuccio, P. Strazzullo // *J Am Coll Cardiol* – 2011. – V. 57. – P.1210–9.
17. Cappuccio F. Does potassium supplementation lower blood pressure? A meta-analysis of published trials / F. Cappuccio, G. Mc Gregor // *J Hypertens*. – 1991. – Vol. 9. – P. 456–73.
18. Canadian Hypertension Education Program Guidelines for pressure Measurement, Diagnosis, Assessment of Risk, prevention and Treatment of Hypertension. *Canadian J Cardiol*. – 2016. – Vol. 32. – P. 569–88.
19. Громова О. А. Значение дефицита кальция в педиатрии и пути ее коррекции / О. А. Громова // *Вопросы современной педиатрии*. – 2007. – №2. – С. 83–87.
20. Shi X. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF-κB activation, and TNF-α production / X. Shi, M. Ding, Z. Dong, F. Chen, J. Ye, S. Wang, S. Leonard, V. Castranova, V. Vallyathan // *Molecular and cellular biochemistry*. – 1999. – 199(1–2). – 93. Doi:10.1023/a:1006934612368.
21. Carll A. Whole and particle-free diesel exhausts differentially affect cardiac electrophysiology, blood pressure, and autonomic balance in heart failure-prone rats / A. Carll, R. Lust, M. Hazari // *Toxicological sciences*. – 2012. – Vol. 128(2). – P.490–499.
22. Dhingra R. Cross-sectional relations of electrocardiographic QRS duration to left ventricular dimensions The Framingham Heart Study / Dhingra R., B. Ho Nam, Benjamin E. J. et al. // *J Am Coll Cardiol*. – 2005. – Vol. 45. – P. 685–689.
23. Kashani A. Significance of QRS Complex Duration in Patients With Heart Failure / A. Kashani, S. Barold // *J Am Coll Cardiol*. – 2005. – Vol. 46. – P. 2183–2192.
24. Williams B. The Year in Hypertension / B. Williams // *J Am Coll Cardiol*. – 2008. – Vol. 51. – P. 1803–1817.
25. Childers R. Features of an exceptionally narrow QRS data set / Childers R., Holmes A., Kocherginsky M. et al. // *Journal of Electrocardiology*. – 2008. – Vol. 41. – P. 501–507.
26. Wolpert C. Is a narrow and tall QRS complex an ECG marker for sudden death? / Wolpert C., Veltmann C., Gussak I. et al. // *Heart Rhythm*. – 2008. – Vol. 5. – P. 1339–1345.
27. Wellens H. J. Early repolarization revisited / H. J. Wellens // *N Engl J Med*. – 2008. – Vol. 358. – P. 2063–2065.
28. Рябыкина Г. В. Холтеровское и бифункциональное мониторирование ЭКГ и артериального давления / Г. В. Рябыкина, А. В. Соболев. – М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М». – 2010. – 320 с.
29. Киркина Н. Ю. Синдром удлиненного интервала QT / Н. Ю. Куркина, А. С. Вольнегина. // *Клиническая медицина и фармакология*. – 2018. – Т 4, №1. – С. 2–10. Doi: 10.12737/article_5acdfe57eee926.15410183.
30. Воробьев Л. В. ЭКГ-анализ интервала Q-T с позиции физиологичности сердечных сокращений. / Л. В. Воробьев // *Научное обозрение. Медицинские науки*. – 2019. – №1. – С. 10–15. Doi: 10.17513/srms.1059.

INDICATORS OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF RATS UNDER THE ACTION OF ACETYLSALICYLIC ACID AND ITS COMPLEX COMPOUNDS WITH METALS

Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Biryukova E. A., Pridatko A. I., Ravaeva M. Yu.,
Grishina T. V., Asanova E. R., Asanova A. R.

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

The effect of acetylsalicylic acid (ASA) and its complex compounds with the metals lithium (Li^+), potassium (K^+), magnesium (Mg^{2+}) and calcium (Ca^{2+}) with a single intraperitoneal injection at doses of 5, 10 and 20 mg/kg on cardiovascular system (CVS) of rats (blood pressure, heart rate, indicators of heart electrocardiogram). The structure-effect analysis showed that the coordination compounds of ASA, in which, in addition to the ligand with bioactive properties, a metal-microelement is present, caused multidirectional changes in the CVS indices. Those changes depended both on the metal included in the compound and on the dose of the administered substance.

The study was carried out on the basis of the Center for collective use of scientific equipment "Experimental Physiology and Biophysics" (Department of Human and Animal Physiology and Biophysics, V.I. Vernadsky Crimean Federal University).

The research of the biological effect of the acetylsalicylic acid, SLi^+ , SK^+ , SMg^{2+} , SCa^{2+} was carried out during their intraperitoneal injection into rats in doses of 5, 10 and 20 mg/kg. Simultaneously the following characteristics of all the groups' animals were registered: heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) and electrocardiogram indicators. The pulse pressure (PP) was calculated on the basis of the SBP and DBP indices difference. BP, HR and RR of the rats were registered with the help of the system NIBP200A («Biopac Systems, Inc.», USA).

The experimental data obtained in our studies confirm the literature data, which show that in the process of complexation there is not only an increase or decrease in certain effects that are characteristic of precursor molecules-salicylates, but also the appearance of new properties of derived substances. The obtained data confirm the cardiotropic effectiveness of new coordination compounds, show the dose dependence of these effects and open up the prospects for further studies of their biological action when used repeatedly in chronic experiments.

Keywords: acetylsalicylic acid, coordination compounds of acetylsalicylates, indicators of the cardiorespiratory system, heart rate, blood pressure, heart electrocardiogram.

The reported study was funded by RFBR, project number 20-33-70142.

References

1. Alekhin E. K., Aspirin: New life of an old drug, *Soros educational journal*, **5(7)**, 85, 90 (1990).
2. Grigorieva A. S., Optimization of the pharmacotherapeutic activity of biometals during complexation with NSAIDs, *Trace elements in medicine*, **2(1)**, 17, 22 (2000).

3. Sokolik J., Tumova I., Blahova M., Anti-inflammatory activities of copper (II) and zinc (II) 3,6-dimethylsalicylates and their equimolar mixture, *Acta Facult. Farm. Univ.comeniana*, **53(1)**, 224, 228 (2006).
4. Hall C. S. Emotional behavior in the rat. III. The relationship between emotionality and ambulatory activity, *Journal of Comparative Psychology*, **22(3)**, 345 (1936) Doi 10.1037/h0059253.
5. Chuyan E. N., Temuryants N. A., Moskovchuk O. B., Physiological mechanisms of biological effects of low-intensity emis, *Simferopol: PE "Elyino"*, 448 p. (2003).
6. Gusev A., Baluda Y., Braga E., Kryukova M., Kiskin M., Chuyan E., Ravaeva M., Cheretaev I., Linert W. Mn (II), Co (II), Ni (II) and Zn salicylates: Synthesis, structure and biological properties studies. *Inorganica Chimica Acta*, 528: Article120606, (2021); doi: 10, 1016/j.ica.2021.120606.
7. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Ravaeva M. Yu., Cheretaev I. V., Grishina T. V., Ablava R. N. Dose-dependent cardiotropic effects of acetylsalicylates, *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **6(72), 4**, 175 (2020). Doi 10.37279 / 2413-1725-2020-6-4-175-196.
8. Khabriev R. U. Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological substances, 832 p. (M.: Medicine, 2005).
9. Mironyuk I. S., Biryukova E. A., Chuyan E. N., Asanova A. R., Changes in ECG indices in rats under the influence of acetylsalicylic acid and its complex compounds with metals, *Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine*, **11(3)**, 25 (2021).
10. Kurkin D. V. The effect of anesthesia with chloral hydrate on the survival of animals during ligation of the common carotid arteries, *Modern problems of science and education*, **1**, 23 (2017).
11. Beresneva O. N., Parastaeva M. M., Shved N. V., Ivanova G. T., Kucher A. G., Kayukov I. G., Smirnov A. V., The combined effect of age and reduction in the mass of active nephrons on myocardial remodeling in rats. *Nephrology*. **19(4)**, 100 (2015).
12. Shlyakhto E. V., Galagudza M. M., Blokhin I. O., Tsyrlin V. A., Syrensky A. V., Egorova E. I., Nifontov E. M., Anti-totemic and antiarrhythmic action of the angiotensin-converting enzyme inhibitor zofenopril in acute myocardial ischemia in experiment, *Arterial hypertension* **12(3)**, 237 (2006). <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2006-12-3-237-242>
13. Tauseef M., Sharma K., Fahim M., Aspirin restores normal baroreflex function in hypercholesterolemic rats by its antioxidative action., *Eur. J. Pharmacol*, **556(1-3)**, 136 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2006.11.029>.
14. Tjonahen E., Resolvin E., Siegelman J., Elangovan S., Percarpio K., Hong S., Arita M., Serhan C., Identification and anti-inflammatory actions: pivotal role of human 5-lipoxygenase in resolvin E series biosynthesis., *J. Chem. Biol*, **13(11)**, 1193 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2006.09.011>.
15. Houston M. C., Harper K. J., Potassium, magnesium, and calcium: their role in both the cause and treatment of hypertension, *J Clin Hypertens (Greenwich)*, **10(7), 2**, 2 (2008).
16. D'Elia L., Barba G., Cappuccio F. P., Strazzullo P. Potassium intake, stroke, and cardiovascular disease a meta-analysis of prospective studies, *J Am Coll Cardiol.*, **57**, 1210 (2011).
17. Cappuccio F., Mc Gregor G. Does potassium supplementation lower blood pressure? A meta-analysis of published trials. *J Hypertens.*, **9**, 456 (1991).
18. Canadian Hypertension Education Program Guidelines for pressure Measurement, Diagnosis, Assessment of Risk, prevention and Treatment of Hypertension, *Canadian J Cardiol.*, **32**, 569 (2016).
19. Gromova O. A. Znachenie deficita kal'cija v pediatrii i puti ee korrekcii, *Voprosy sovremennoj pediatrii*, **2**, 83 (2007).
20. Shi X., Ding M., Dong Z., Chen F., Ye J., Wang S., Leonard S. S., Castranova V., Vallyathan V. Antioxidant properties of aspirin: characterization of the ability of aspirin to inhibit silica-induced lipid peroxidation, DNA damage, NF- κ B activation, and TNF- α production, *Molecular and cellular biochemistry*, **199(1-2)**, 93 (1999). Doi:10.1023/a:1006934612368.
21. Carll A., Lust R., Hazari M. Whole and particle-free diesel exhausts differentially affect cardiac electrophysiology, blood pressure, and autonomic balance in heart failure-prone rats, *Toxicological sciences*, **128(2)**, 490 (2012).
22. Dhingra R., B. Ho Nam, Benjamin E. J. et al., Cross-sectional relations of electrocardiographic QRS duration to left ventricular dimensions The Framingham Heart Study, *J Am Coll Cardiol*, **45**, 685 (2005).

23. Kashani A., Barold S. Significance of QRS Complex Duration in Patients With Heart Failure, *J Am Coll Cardiol*, **46**, 2183 (2005).
24. Williams B. The Year in Hypertension, *J Am Coll Cardiol*, **51**, 1803 (2008).
25. Childers R., Holmes A., Kocherginsky M. et al., Features of an exceptionally narrow QRS data set, *Journal of Electrocardiology*, **41**, 501 (2008).
26. Wolpert C., Veltmann C., Gussak I. et al. Is a narrow and tall QRS complex an ECG marker for sudden death?, *Heart Rhythm*, **5**, 1339 (2008).
27. Wellens H. J. Early repolarization revisited, *N Engl J Med.*, **358**, 2063 (2008).
28. Rjabykina G. V., Sobolev A. V. *Holterovskoe i bifunkcional'noe monitorirovanie JeKG i arterial'nogo davlenija*, 320 s. (M.: ID «MEDPRAKTIKA-M», 2010).
29. Kirkina N. Ju., Vol'negina A. S. Sindrom udlinennogo intervala QT, *Klinicheskaja medicina i farmakologija*, **4(1)**, 2 (2018). Doi: 10.12737/article_5acdf57eee926.15410183.
30. Vorobev L. V. ECG analysis of the q-tc interval from the position of the physiologicality of heart rates, *Medical and Diagnostic Center «Vicom-med»*, **1**, 10 (2019). doi: 10.17513/srms.1059.

УДК 616.45-001.1/3:547.853.3:615.015

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-289-297

BDNF-ОПОСРЕДОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ АНТИСТРЕССОРНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛАНКОРТИНОВ

***Ясенявская А. Л.¹, Андреева Л. А.², Мясоедов Н. Ф.², Башикина О. А.¹,
Самотружева М. А.¹***

¹*ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, Астрахань, Россия*

²*ФГБУ Институт молекулярной генетики Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт», Москва, Россия*
E-mail: yasen_9@mail.ru

Работа посвящена изучению влияния меланокортинов на уровень мозгового нейротрофического фактора (BDNF) в сыворотке крови белых крыс в условиях «социального» стресса. Уровень BDNF в сыворотке крови белых крыс оценивали методом иммуноферментного анализа с использованием наборов ELISA Kit (США). В условиях «социального» стресса наблюдается снижение уровня BDNF; введение изучаемых меланокортинов (АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro (Семакс) и АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro) способствует повышению концентрации BDNF в сыворотке крови экспериментальных животных, что свидетельствует о влиянии нейропептидов на экспрессию нейротрофинов класса BDNF и позволяет предложить возможный механизм антистрессорного эффекта.

Ключевые слова: меланокортины; нейропептиды; Семакс, АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro, АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro, стресс; мозговой нейротрофический фактор, Brain Derived Neurotrophic Factor, BDNF.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с активным развитием молекулярной медицины особый интерес представляют исследования, посвященные изучению механизмов регуляции физиологических и патофизиологических процессов. Неотъемлемой частью современной жизни человека является стресс, вызванный различными биологическими, социальными и техногенными факторами, представляющий собой неспецифическую реакцию организма на различные экстремальные воздействия [1–3]. Несмотря на формирование при стрессе адаптационных механизмов в виде генерализованной активации организма, фокусировки внимания и памяти, а также стресс-индуцированной анальгезии, при интенсивном и продолжительном влиянии негативного фактора, центральная нервная система теряет свою способность к адаптации и в результате дистресса нередко нарушаются процессы нейрогенеза [4]. Данный факт объясняет развитие стресс-индуцированных патологических процессов в ЦНС, что подчеркивает актуальность поиска и изучения механизмов действия фармакологических средств, проявляющих стресспротекторные и нейротропные свойства [5].

Выраженной нейрометаболической, нейрорегенеративной и антистрессорной активностью характеризуются пептиды семейства меланокортинов (N-концевых фрагментов адренокортикотропного гормона, ряда фрагментов проопиомеланокортина и их синтетических аналогов), что, наряду со способностью проникать через гематоэнцефалический барьер, делает соединения данного класса перспективными с точки зрения практического применения [6–11]. В качестве стресспротекторных средств особый интерес представляют меланокортины АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro (Семакс) и АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro, синтезированные в Институте молекулярной генетики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» [12, 13].

Одним из возможных механизмов действия меланокортинов является влияние на уровни экспрессии в ЦНС нейротрофических факторов, обеспечивающих основные процессы регуляции гомеостаза организма. Одним из эффективных регуляторных белков является нейротрофин Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF), который способен снижать негативные последствия гипоксического, токсического и стрессорного повреждения клеток головного мозга, что обусловлено связыванием с тирозинкиназным В-рецептором и активацией основных метаболических каскадов [14–16]. Доказано, что BDNF регулирует как процесс синаптической передачи в различных отделах головного мозга, так и развитие его структур в нео- и постнатальном периодах. Нейрометаболическое действие нейротрофина обусловлено запуском митоген-активированного протеинкиназного и фосфоинозитол-3-киназного сигнальных путей, определяющих активацию антиапоптотической экспрессии генов, от которых зависит «выживание» нейронов [17–19].

Принимая во внимание тот факт, что актуальным является вопрос о механизмах стресспротекторного действия веществ, способных защитить клетки головного мозга от повреждающего действия стресс-факторов, научный интерес представляет изучение влияния меланокортинов на уровень экспрессии нейротрофических факторов, что и определило цель данного исследования: изучить влияние меланокортинов на уровень экспрессии BDNF в сыворотке крови белых крыс в условиях «социального» стресса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 70 белых крысах-самцах 6-месячного возраста. Все манипуляции с животными проводили в соответствии с требованиями Директивы Европейского Парламента и Совета Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях (2010/63/EU); правилами, принятыми «Международной конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и научных целей» (Страсбург, 1986); Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 199н от 01.04.2016 «Об утверждении Правил лабораторной практики» и протоколом Этического комитета ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России № 8 от 24. 11. 2015.

В качестве экспериментальной модели «социального» стресса использовали модель сенсорного контакта с формированием у экспериментальных животных

агрессивного и субмиссивного типов поведения [10]. Лабораторные животные с учетом градации по типам поведения были разделены на группы (n=10):

- группа контрольных/интактных животных;
- группа крыс, подвергавшихся воздействию «социального» стресса в течение 20 дней (стресс);
- группа особей, получавших Семакс (АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro) в дозе 100 мкг/кг/сут внутрибрюшинно с 1-го дня стрессорного воздействия курсом 20 дней;
- группа животных, получавших АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro в дозе 100 мкг/кг/сут внутрибрюшинно с 1-го дня стрессорного воздействия курсом 20 дней;

Уровень BDNF в сыворотке крови белых крыс оценивали методом иммуноферментного анализа с использованием наборов ELISA Kit for Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) (США).

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью статистического пакета Excel и программного обеспечения BIOSTAT, с использованием критерия Манна-Уитни. Статистически значимыми различия считали при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, отражающие влияние меланокортинов на экспрессию нейротрофического фактора BDNF в сыворотке крови белых крыс в условиях «социального» стресса, представлены на рисунках 1 и 2. По полученным данным у животных с агрессивным типом поведения в условиях «социального» стресса отмечается снижение уровня BDNF на 40 % ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы. Введение меланокортиновых соединений способствует статистически значимой экспрессии изучаемого нейротрофического фактора и его уровень увеличивается: на фоне действия АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro – практически на 60 % ($p \leq 0,01$), АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro – практически на 40 % ($p \leq 0,01$) в сравнении с группой стрессированных животных (рис. 1).

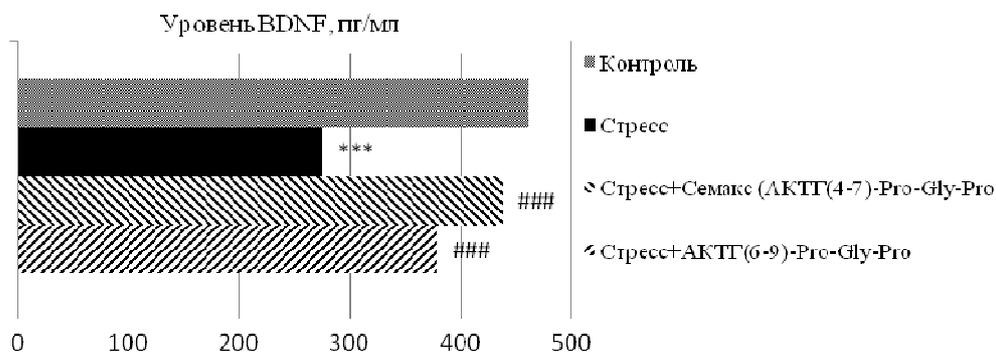


Рис. 1. Уровень BDNF в сыворотке крови белых крыс с агрессивным типом поведения в условиях «социального» стресса под влиянием меланокортинов.

Примечание: *** – $p \leq 0,01$ – относительно контроля; #### – $p \leq 0,01$ – относительно группы «стресс».

В группах животных с субмиссивным типом поведения при определении уровня BDNF отмечались следующие изменения: у крыс группы «социальный стресс» данный показатель снизился практически на 45 % ($p \leq 0,01$) по отношению к контрольной группе; тогда как под влиянием нейропептидных субстанций происходило увеличение данного маркера на 78 % ($p \leq 0,01$) – на фоне применения АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro, на 55 % ($p \leq 0,01$) – при АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro, по сравнению со стрессированными особями (рис. 2).

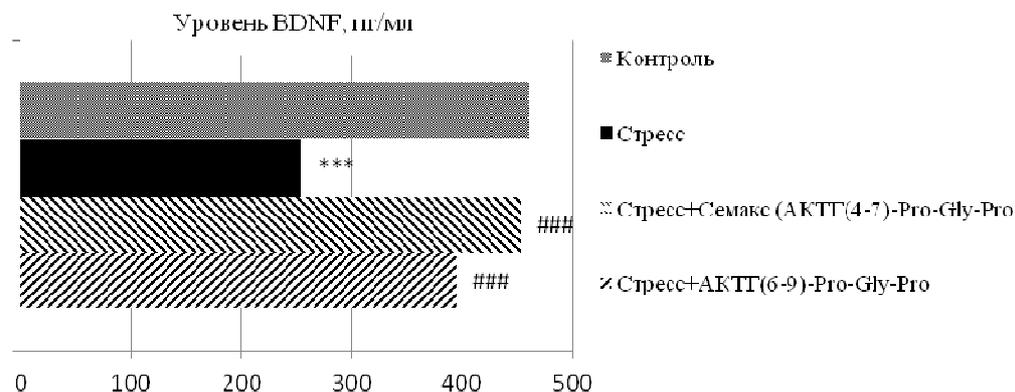


Рис. 2. Уровень BDNF в сыворотке крови белых крыс с субмиссивным типом поведения в условиях «социального» стресса под влиянием меланокортинов.

Примечание: *** – $p \leq 0,01$ – относительно контроля; ### – $p \leq 0,01$ – относительно группы «стресс».

По результатам проведенного исследования было установлено, что в условиях «социального» стресса наблюдалось снижение экспрессии BDNF, что подтверждается работами других исследователей. Так, в работе Н. М. Вяловой и Л. А. Левчук, посвященной изучению механизмов нарушений, индуцированных экспериментальным стрессом на различных моделях, установлено, что стресс провоцирует у грызунов развитие депрессивноподобного состояния, которое сопровождается нейропластическими изменениями, включающими угнетение нейрогенеза в гиппокампе, что связано с дефицитом нейротрофических факторов [17]. В настоящее время накоплен значительный объем экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что патологическая стресс-реакция способствует снижению содержания BDNF, дефицит которого, в свою очередь, играет важную роль в патофизиологии стресса, индуцируя нарушения нейрогенеза, ассоциированные с изменением нейропластичности, а также дисфункцией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой и нейротрансмиттерной систем [5, 15, 18]. Установленное в исследованиях снижение экспрессии BDNF в результате воздействия стрессогенных факторов различной природы и восстановление его уровня продолжительным введением стресс-протекторов и антидепрессантов привели к созданию нейротрофической гипотезы развития стресс-индуцированной депрессии [20], согласно которой изменение уровня мозгового нейротрофического

фактора BDNF является ключевым механизмом формирования и разработки подходов к лечению подобных нарушений. Данный факт подтверждается установленным снижением содержания мозгового нейротрофического фактора при формировании депрессии и повышении его концентрации в процессе фармакотерапии, а также положительная корреляция уровня BDNF со степенью улучшения состояния пациента. Доказано, что эффективность терапии стресс-протекторами и антидепрессантами осуществляется за счет их воздействия на нейрогенез и нейрональную пластичность [11, 21, 22]. Установленная в данном исследовании корригирующая активность меланокортинов в отношении уровня BDNF при «социальном» стрессе свидетельствует о проявлении АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro (Семакс) и АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro выраженных антистрессорных эффектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установленный в работе факт снижения экспрессии BDNF в условиях «социального» стресса и положительное влияние меланокортинов (АКТГ(4-7)-Pro-Gly-Pro (Семакс) и АКТГ(6-9)-Pro-Gly-Pro), способствующее восстановлению данных показателей, свидетельствует о влиянии нейропептидов на экспрессию нейротрофинов класса BDNF и позволяет предложить возможный механизм антистрессорного эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ № 19-04-00461.

Список литературы

1. Magariños A. M. Impacts of stress on reproductive and social behaviors. / A. M. Magariños, S. M. Schaafsma, D. W. Pfaff // Front Neuroendocrinology. – 2018. – Vol. 49. – P. 86–90.
2. O'Connor D. B. Stress and Health: A Review of Psychobiological Processes. / D. B. O'Connor, J. F. Thayer, K. Vedhara // Annual Review of Psychology. – 2021. – Vol. 72. – P. 663–688.
3. Park C. Stress, epigenetics and depression: A systematic review. / C. Park, J. D. Rosenblat, E. Brietzke, Z. Pan, Y. Lee, B. Cao, H. Zuckerman, A. Kalantarova, S. R. McIntyre // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2019. – Vol. 102. – P. 139–152.
4. Cohen S. A Stage Model of Stress and Disease. / S. Cohen, P. J. Gianaros, S. B. Manuck // Perspectives on Psychological Science. – 2016. – Vol. 11, № 4. – P. 456–63.
5. Benham G. Stress and sleep remain significant predictors of health after controlling for negative affect. / G. Benham, R. Charak // Stress Health. – 2019. – Vol. 35, № 1. – P. 59–68.
6. Жуйкова С. Е. Глипролины — регуляторные пептиды с интегративным действием / С. Е. Жуйкова // Интегративная физиология. – 2020. – Т. 1, № 4. – С. 303–316.
7. Carr R. Neuropeptides in sensory signal processing. / R. Carr, S. Frings // Cell and Tissue Research. – 2019. – Vol. 375, №1 – P. 217-225.
8. Fricker L. D. Carboxypeptidase E and the Identification of Novel Neuropeptides as Potential Therapeutic Targets. / L. D. Fricker // Advances in pharmacology. – 2018. – Vol. 82. – P. 85–102.
9. Kanunnikova N. P. Neuroprotective properties of neuropeptides / N. P. Kanunnikova // Journal of the Grodno State Medical University. – 2017. – Vol. 15, № 5. – P. 492–498.
10. Samotruева M. A. Experimental Substantiation of Application of Semax as a Modulator of Immune Reaction on the Model of "Social" Stress / M. A. Samotruева, A. L. Yasenyavskaya, V. K. Murtalievа, O. A. Bashkina, N. F. Myasoedov, L. A. Andreeva, A. V. Karaulov // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2019. – Vol. 166, № 6. – P. 754–758.

11. Tajti J. Migraine and neuropeptides / J. Tajti, D. Szok, Z. Majláth, B. Tuka, A. Csáti, L. Vécsei // *Neuropeptides*. – 2015. – Vol. 52. – P. 19–30.
12. Ясенявская А. Л. Влияние семакса на уровень интерлейкина-1 β в условиях «социального» стресса / А. Л. Ясенявская, М. А. Самотруева, Н. Ф. Мясоедов, Л. А. Андреева // *Медицинский академический журнал*. – 2019. – № 19(S). – С. 192–194.
13. Ясенявская А. Л. Влияние глипролинов на перекисное окисление липидов в гипоталамической и префронтальной областях головного мозга в условиях «социального» стресса / А. Л. Ясенявская, М. А. Самотруева, А. А. Цибизова, Н. Ф. Мясоедов, Л. А. Андреева // *Астраханский медицинский журнал*. – 2020. – № 15 (3) – С. 79–85.
14. Гудашева Т. А. Мозговой нейротрофический фактор и его низкомолекулярные миметики / Т. А. Гудашева, А. В. Тарасюк, П. Ю. Поварнина, С. Б. Середенин // *Фармакокинетика и фармакодинамика*. – 2017. – № 3. – С. 3–13.
15. Крыжановская С. Ю. Нейротрофины и адаптация к средовым стимулам: возможности расширения «терапевтического потенциала» (краткий обзор) / С. Ю. Крыжановская, М. А. Запара, О. С. Глазачев // *Вестник международной академии наук (русская секция)* – 2020. – № 1. – С. 36–43.
16. Levy M. J. F. Neurotrophic factors and neuroplasticity pathways in the pathophysiology and treatment of depression / M. J. F. Levy, F. Bouille, H. W. Steinbusch, D. L. Hove, G. Kenis, L. Lanfumey // *Psychopharmacology*. – 2018. – Vol. 235. – С. 2195–2220.
17. Вялова Н. М. Роль BDNF в формировании депрессивных расстройств / Н. М. Вялова, Л. А. Левчук // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 10–4. – С. 771–775.
18. Острова И. В. Прогностическая значимость и терапевтический потенциал мозгового нейротрофического фактора BDNF при повреждении головного мозга (обзор) / И. В. Острова, Н. В. Голубева, А. Н. Кузовлев, А. М. Голубев // *Общая реаниматология*. – 2019. – Том 15, № 1. – С. 70–86.
19. Naghibzadeh M. Effects of Two Training Programs on Transcriptional Levels of Neurotrophins and Glial Cells Population in Hippocampus of Experimental Multiple Sclerosis / M. Naghibzadeh, R. Ranjbar, M. R. Tabandeh, A. Habibi // *International Journal of Sports Medicine*. – 2018. – Vol. 39. – P. 604–612.
20. Yang L. The Effects of Psychological Stress on Depression / L. Yang, Y. Zhao, Y. Wang, L. Liu, X. Zhang, B. Li, R. Cui // *Current Neuropharmacology*. – 2015. – Vol. 13, № 4. – P. 494–504.
21. Thiele T. E. Neuropeptides and Addiction: An Introduction / T. E. Thiele // *International Review of Neurobiology*. – 2017. – Vol. 136. – P. 1–3.
22. Vyunova T. V. An integrated approach to study the molecular aspects of regulatory peptides biological mechanism / T. V. Vyunova, L. A. Andreeva, K. V. Shevchenko, N. F. Myasoedov // *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*. – 2019. – Vol. 62, №12. – P. 812–822.

BDNF-MEDIATED MECHANISM OF ANTI-STRESS EFFECT OF MELANOCORTINS

***Yasenyavskaya A. L.¹, Andreeva L. A.², Myasoedov N. F.², Bashkina O. A.¹,
Samotruева M. A.¹***

¹*Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia*

²*Institute of molecular genetics National research center “Kurchatov Institute” Moscow, Russia
E-mail: yasen_9@mail.ru*

In recent years studies devoted to the study of the mechanisms of regulation of physiological and pathophysiological processes are of particular interest in connection with the active development of molecular medicine. Stress caused by various biological, social and technogenic factors is an integral part of modern human life and is a non-

specific reaction of the body to various extreme influences. Despite the formation of adaptive mechanisms under stress in the form of generalized activation of the body, focusing of attention and memory, stress-induced analgesia, under conditions of intense and prolonged influence of a negative factor, the central nervous system loses its ability to adapt and the processes of neurogenesis are often disturbed as a result of distress. This fact explains the development of stress-induced pathological processes in the central nervous system, which emphasizes the relevance of the search and study of the mechanisms of action of pharmacological agents exhibiting stress-protective and neurotropic properties.

Melanocortins (N-terminal fragments of adrenocorticotropic hormone, fragments of proopiomelanocortin and their synthetic analogs) are characterized by pronounced neurometabolic, neuroregenerative and antistress activity. One of the possible mechanisms of action of melanocortins is the influence on the levels of expression in the central nervous system of neurotrophic factors that provide the main processes of regulation of homeostasis of the body. Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) which is able to reduce the negative effects of hypoxic, toxic and stressful damage to brain cells, which is due to binding to tyrosine kinase B receptor and activation of the main metabolic cascades, is one of the effective regulatory proteins. Taking into account the fact that the question of the mechanisms of the stress-protective action of substances capable of protecting brain cells from the damaging effect of stress factors is relevant, the study of the effect of melanocortins on the level of neurotrophic factors is of scientific interest.

The study was carried out on 70 male white rats of 6 months of age. Sensory contact in the absence of physical contact with the subsequent formation of aggressive and submissive types of behavior was used as an experimental model of "social" stress. Laboratory animals, taking into account the gradation by types of behavior, were divided into groups: a group of control / intact animals; a group of rats exposed to "social" stress for 20 days; a group of individuals who received Semax (ACTH(4-7)-Pro-Gly-Pro) at a dose of 100 µg / kg / day intraperitoneally from the 1st day of stress exposure for a course of 20 days; a group of animals that received ACTH(6-9)-Pro-Gly-Pro at a dose of 100 µg/kg/day intraperitoneally from day 1 of stress exposure for a course of 20 days. The BDNF level in the blood serum of white rats was assessed by the enzyme-linked immunosorbent assay using ELISA Kit for Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) (USA).

It was found that under conditions of "social" stress, a decrease in the level of BDNF was observed. The introduction of the studied melanocortins (ACTH(4-7)-Pro-Gly-Pro (Semax) and ACTH(6-9)-Pro-Gly-Pro) under conditions of induced "social" stress increases the concentration of BDNF in the blood serum of experimental animals. The study of the mechanisms of disturbances induced by experimental stress in various models showed that stress provokes the development of a depression-like state in rodents, which is accompanied by neuroplastic changes, including inhibition of neurogenesis in the hippocampus.

Currently a large amount of experimental data has been accumulated, indicating that a pathological stress response contributes to a decrease in the level of BDNF. Deficiency of BDNF plays an important role in the pathophysiology of stress, inducing impairments of neurogenesis associated with impaired neuroplasticity, as well as dysfunction of the

hypothalamic-pituitary-adrenal and neurotransmitter serotonergic systems. The effectiveness of therapy with stress protectors and antidepressants is due to their effect on neurogenesis and neuronal plasticity.

Thus the fact of a decrease of BDNF under conditions of "social" stress established in the work and the positive effect of melanocortins (ACTH(4-7)-Pro-Gly-Pro (Semax) and ACTH(6-9)-Pro-Gly-Pro), contributing to the restoration of these parameters, indicates the effect of neuropeptides on the expression of BDNF and allows us to suggest a possible mechanism of the antistress effect. It should be noted that the serum level of brain neurotrophic factor can be considered as a biomarker of stress-induced disorders and affective disorders, as well as an indicator of the effectiveness of therapy with stress protectors. In addition, the level of BDNF in the blood serum can be considered as indicators of prognosis and evaluation of the effectiveness of therapy.

Keywords: melanocortins; neuropeptides; Semax, ACTH(4-7)-Pro-Gly-Pro, ACTH(6-9)-Pro-Gly-Pro, stress; Brain Derived Neurotrophic Factor, BDNF.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant RFBR No. 19-04-00461.

References

1. Magariños A. M., Schaafsma S. M. and Pfaff D. W. Impacts of stress on reproductive and social behaviors. *Front Neuroendocrinology*, **49**, 86 (2018).
2. O'Connor D. B., Thayer J. F. and Vedhara K. Stress and Health: A Review of Psychobiological Processes. *Annual Review of Psychology*, **72**, 663 (2021).
3. Park C., Rosenblat D., Brietzke E., Pan Z., Lee Y., Cao B., Zuckerman H., Kalantarova A. and McIntyre S. R. Stress, epigenetics and depression: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **102**, 139 (2019).
4. Cohen S., Gianaros P. J. and Manuck S. B. A Stage Model of Stress and Disease. *Perspectives on Psychological Science*, **11**, 456 (2016).
5. Benham G. and Charak R. Stress and sleep remain significant predictors of health after controlling for negative affect. *Stress Health*, **35**, 59 (2019).
6. Zhuikova S. E. Gliptrolines – regulatory peptides with integrative action. *Integrative physiology*, **1**, 303 (2020).
7. Carr R. and Frings S. Neuropeptides in sensory signal processing. *Cell and Tissue Research*, **375**, 217 (2019).
8. Fricker L. D. Carboxypeptidase E and the Identification of Novel Neuropeptides as Potential Therapeutic Targets. *Advances in pharmacology*, **82**, 85 (2018).
9. Kanunnikova N. P. Neuroprotective properties of neuropeptides. *Journal of the Grodno State Medical University*, **15**, 492 (2017).
10. Samotruева М. А., Ясеняевская А. Л., Мурталиева В. К., Башкина О. А., Мясоедов Н. Ф., Андреева Л. А. and Карaulov А. В. Experimental Substantiation of Application of Semax as a Modulator of Immune Reaction on the Model of "Social" Stress. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **166**, 754 (2019).
11. Tajti J., Szok D., Majláth Z., Tuka B., Csáti A. and Vécsei L. Migraine and neuropeptides. *Neuropeptides*, **52**, 19 (2015).
12. Ясеняевская А. Л., Самотруева М. А., Мясоедов Н. Ф. and Андреева Л. А. The effect of semax on the level of interleukin-1 β in conditions of "social" stress. *Medical Academic Journal.*, **19**, 192 (2019).
13. Ясеняевская А. Л., Самотруева М. А., Тсизовова А. А., Мясоедов Н. Ф. and Андреева Л. А. The effect of glyptrolines on lipid peroxidation in the hypothalamic and prefrontal regions of the brain under conditions of "social" stress. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal*, **15**, 79 (2020).

14. Gudasheva T. A., Tarasyuk A. V., Povarnina P. Yu. and Seredenin S. B. Brain neurotrophic factor and its low molecular weight mimetics. *Pharmacokinetics and pharmacodynamics*, **3**, 3 (2017).
15. Kryzhanovskaya S. Yu., Zapara M. A. and Glazachev O. S. Neurotrophins and adaptation to environmental stimuli: possibilities of expanding the "therapeutic potential". *Bulletin of the International Academy of Sciences*, **1**, 36 (2020).
16. Levy M. J. F., Boulle F., Steinbusch H. W., Hove D. L., Kenis G., Lanfumey L. Neurotrophic factors and neuroplasticity pathways in the pathophysiology and treatment of depression. *Psychopharmacology*, **235**, 2195 (2018).
17. Vyalova N. M. and Levchuk L. A. The role of BDNF in the formation of depressive disorders. *Fundamental research*, **10-4**, 771 (2014).
18. Ostrova I. V., Golubeva N. V., Kuzovlev A. N. and Golubev A. M. Prognostic significance and therapeutic potential of the cerebral neurotrophic factor BDNF in brain damage. *General Reanimatology*, **15**, 70 (2019).
19. Naghibzadeh M., Ranjbar R., Tabandeh M. R., Habibi A. Effects of Two Training Programs on Transcriptional Levels of Neurotrophins and Glial Cells Population in Hippocampus of Experimental Multiple Sclerosis. *International Journal of Sports Medicine*, **39**, 604 (2018).
20. Yang L., Zhao Y., Wang Y., Liu L., Zhang X., Li B. and Cui R. The Effects of Psychological Stress on Depression. *Current Neuropharmacology*, **13**, 494 (2015).
21. Thiele T. E. Neuropeptides and Addiction: An Introduction. *International Review of Neurobiology*, **136**, 1 (2017).
22. Vyunova T. V., Andreeva L. A., Shevchenko K. V. and Myasoedov N. F. An integrated approach to study the molecular aspects of regulatory peptides biological mechanism. *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*, **62**, 812 (2019).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 7 (73). 2021. № 3. С. 298–305.

УДК 615.281 + 547.787.1

СИНТЕЗ И РАСЧЕТНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2- α -ГИДРОКСИАЛКИЛБЕНЗИМИДАЗОЛА

*Баевский М. Ю., Поддубов А. И., Раваева М. Ю., Цикалов В. В., Цикалова В. Н.,
Соловьев В. Н.*

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: b_m_y@mail.ru*

Изучена реакция конденсации ряда α -гидроксикарбоновых кислот и ацетонциангидрина с 1,2-фенилендиамином в различных условиях. Показана высокая эффективность борной кислоты, используемой в качестве конденсирующего агента. Синтезирован широкий спектр производных гидроксиалкил-1*H*-бензимидазола. Рассмотрена потенциальная расчетная биологическая активность синтезированных соединений, полученная программой PASSOnline.

Ключевые слова: α -гидроксикарбоновая кислота, фенилендиамин, конденсация, психотропная активность, антивирусная активность, бензимидазол, PASS.

ВВЕДЕНИЕ

Производные бензимидазола обладают широким спектром биологической активности. На основе этих производных создано большое количество фармацевтических препаратов, обладающих, в том числе, антиканцерогенным, антимикробным, психотропным действием [1]. Основным способом получения производных 1*H*-бензимидазола является конденсация о-фенилендиамина с карбоновыми кислотами в присутствии неорганических кислот (соляной [1–3], полифосфорной [2, 3], фосфорной [4] и борной [5]) в качестве катализаторов процесса циклизации. Что касается синтеза 2- α -гидроксиалкил-1*H*-бензимидазола, то синтез подобных соединений, по литературным данным [1–3], осуществляется в результате конденсации о-фенилендиамина и его производных с α -оксикарбоновыми кислотами, а так же с эфирами, нитрилами и амидами соответствующих кислот.

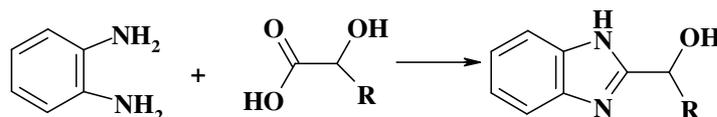
Целью данной работы является анализ методик синтеза производных 2- α -гидроксиалкил-1*H*-бензимидазол, выбор оптимальных методов синтеза и определение потенциальной биологической активности синтезированных соединений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Температуру плавления определяли на приборе ПТП. Спектры ¹H-ЯМР получены на приборе Varian VXR-400 (400 МГц), внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ-шкале.

Для прогноза спектров биологической активности полученных соединений по их структурным формулам был использован веб-ресурс PASSOnline [6], обеспечивающий предсказание более 4 тысяч видов биологической активности, включая около 500 фармакологических эффектов, более 3 тысяч видов механизмов действия, 116 взаимодействий с ферментами метаболизма, со средней точностью выше 95 % [7].

Общая схема конденсации *o*-фенилендиамин с α-гидроксикарбоновыми кислотами.



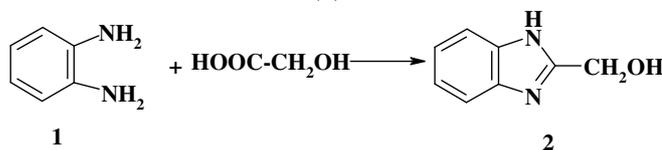
Вариант 1. Синтез в присутствии 4 н соляной кислоты.

К 54 г (0,5 моль) *o*-фенилендиамина добавляют 0,75 моль соответствующей 2-гидроксикарбоновой кислоты и 500 мл 4н соляной кислоты. Смесь кипятят с обратным холодильником в течение 2–3 часов. По окончании реакции реакцию массу охлаждают до температуры 80–90 °С. Затем в колбу добавляют 15 г мелкоизмельченного активированного угля, доводят реакцию массу снова до кипения и кипятят в течение 20 минут. После чего фильтрацией на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до рН 8–9. Выпавший в осадок продукт реакции отфильтровывают на воронке Бюхнера. Сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

Вариант 2. Синтез в присутствии борной кислоты.

В плоскодонную колбу емкостью 100 мл загружают 6,3 г (0,1 моль) борной кислоты, 0,125 моль соответствующей 2-гидроксикарбоновой кислоты и 10,8 г (0,1 моль) *o*-фенилендиамина. После чего реакцию смесь нагревают до температуры 150 °С и выдерживают при данной температуре в течение трех часов. Затем реакцию массу охлаждают до 60–70 °С, растворяют в 200 мл 1н раствора соляной кислоты. Добавляют 5 г мелкоизмельченного активированного угля. Доводят реакцию массу до кипения и кипятят в течении 20 минут. После чего фильтрацией на складчатом фильтре отделяют активированный уголь. Фильтрат нейтрализуют 25 %-ным водным раствором аммиака до рН 8-9. Выпавший в осадок продукт реакции отфильтровывают на воронке Бюхнера и сушат в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

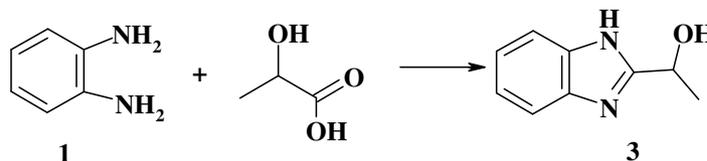
2-Гидроксиметил-1H-бензимидазол (2).



Вариант 1. Соответствующее количество гликолевой кислоты конденсировали с *o*-фенилендиамином в присутствии 4 н соляной кислоты как описано в варианте 1. Выход **2**: 83 %, т. пл. = 171–172 °С. Лит. данные [3]: т. пл. = 171–172 °С.

Вариант 2. Гликолевую кислоту конденсировали с *o*-фенилендиамином также в присутствии борной кислоты как описано в варианте 2. Выход **2**: 93 %, т. пл. = 171–172 °С.

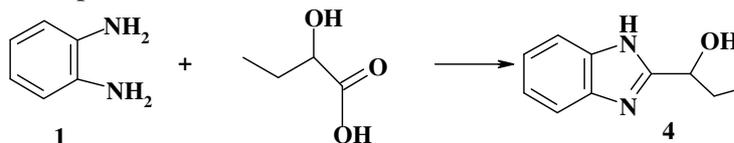
2-(1-Гидроксиэтил)-1*H*-бензимидазол (3).



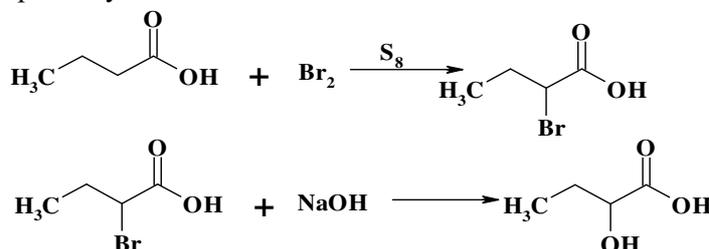
Вариант 1. Соответствующее количество молочной кислоты конденсировали с *o*-фенилендиамином в присутствии 4 н соляной кислоты как описано в варианте 1. Выход **3**: 71 %, т. пл. = 178–179 °С. Лит. данные [3]: т. пл. = 178–179 °С.

Вариант 2. Молочную кислоту конденсировали с *o*-фенилендиамином также в присутствии борной кислоты как описано в варианте 2. Выход **2**: 83 %, т. пл. = 178–179 °С.

2-(1-Гидроксипропил)-1*H*-бензимидазол (4).



Синтез 2-гидроксипропановой кислоты



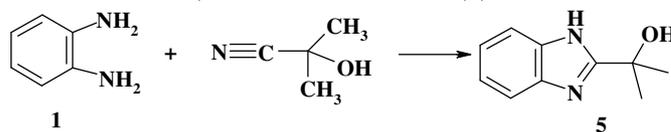
I Этап. Бромирование бутановой кислоты. В трехгорлую колбу емкостью 250 мл, снабженную капельной воронкой, обратным холодильником и механической стеклянной мешалкой помещают 46 мл (0,5 моль) бутановой (масляной) кислоты, 6,4 г (0,02 моль) порошковой серы. При перемешивании из капельной воронки медленно по каплям в течении 30 минут добавляют 35 мл сухого брома. Затем температуру поднимают до 85–90 °С и выдерживают реакционную массу при данной температуре в течение 90 минут. Реакционную массу охлаждают до комнатной температуры и переносят в делительную воронку. Промывают тремя порциями воды, отделяя нижний слой. Полученную 2-бромбутановую кислоту используют на стадии щелочного гидролиза без предварительной очистки.

II Этап. Щелочной гидролиз 2-бромбутановой кислоты. 60 Грамм (0,75 моль) гидроксида натрия растворяют в 300 мл воды. К полученному раствору при комнатной температуре добавляют синтезированную на первой стадии 2-бромбутановую кислоту. Нагревают полученный раствор до кипения и выдерживают его при кипении в течение двух часов. По окончании реакции реакцию массу охлаждают и подкисляют концентрированной соляной кислотой до pH – 4. Растворитель (воду) упаривают под вакуумом на роторном испарителе. После чего экстрагируют пропан-2-олом из остатка полученную 2-гидроксибутановую кислоту. Растворитель удаляют под вакуумом на роторном испарителе. В дальнейшем полученную кислоту используют в синтезе 2- α -гидроксипропил-1*H*-бензимидазола без дополнительной очистки.

2-Гидроксибутановую кислоту конденсировали с *o*-фенилендиамином **1** в присутствии соляной кислоты как описано в варианте 1. Выход **4**: 72 %. Т. п.л. =185–188 °С.

¹H-ЯМР (DMSO-d₆): 0,89 м.д. (3H, т, –CH₂–CH₃); 1,74 м.д. (2H, к, –CH₂–CH₃); 4,69 м.д. (1H, т, –CH–); 5,65 м.д. (1H, с, –OH); 7,12–7,46 м.д. (4H, м, Ar); 12,19 м.д. (1H, с, –NH– (гетероцикл))

2-(1-Гидрокси-1-метилэтил)-1*H*-бензимидазол (**5**).



К 0,1 моль (10,8г) *o*-фенилендиамина прибавляют 0,125 моль (10,6 г) 2-гидрокси-2-метилпропаннитрила, приливают 100 мл 4н соляной кислоты и кипятят смесь в течении 48 часов. По окончании реакции, реакцию смесь охлаждают и осаждают продукт реакции 25 %-ным раствором аммиака. Выход продукта реакции 54 %, т. пл. 172–174 °С.

¹H-ЯМР (DMSO-d₆): 1,58 м.д. (6H, т, –CH₂–CH₃); 5,68 м.д. (1H, с, –OH); 7,08–7,44 м.д. (4H, м, Ar); 12,11 м.д. (1H, с, –NH– (гетероцикл))

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе рассматривалось использование четырехнормальной соляной кислоты (вариант 1) или борной кислоты (вариант 2) как катализаторов в синтезе бензимидазолов. Смесь *o*-фенилендиамина, α -гидроксикарбоновой кислоты или ее нитрила и неорганической кислоты нагревали в течение нескольких часов с обратным холодильником. Полученный продукт выделяли и высушивали. 2-Гидроксиметил-1*H*-бензимидазол был получен из гликолевой кислоты обоими способами с выходом 83 % в случае использования соляной кислоты и 93 % в случае использования борной кислоты. Оба эти выхода превышали значения выхода этого же вещества с использованием фосфорной кислоты, где он составил 70 % [4]. 2-(1-Гидроксиэтил)-1*H*-бензимидазол синтезировали из молочной кислоты также обоими способами с выходом 71 % в случае использования соляной кислоты и 83 % в случае использования борной кислоты. В случае использования фосфорной кислоты выход составлял 70 % [4].

2-Гидроксипропановую кислоту для конденсации с *o*-фенилендиамином предварительно получали через стадию образования бромпроизводного бутановой кислоты. Синтезированную 2-гидроксипропановую кислоту конденсировали с *o*-фенилендиамином только в присутствии соляной кислоты с выходом 72 %. Строение вещества было подтверждено методом ЯМР-спектроскопии. В спектре в частности, идентифицированы сигналы протонов пропильного остатка: триплет концевой метильной группы с химическим сдвигом 0,89 м.д. и триплет метиновой группы с химическим сдвигом 4,69 м.д. Сигналы четырех ароматических протонов бензимидазольного фрагмента идентифицированы в области 7,12–7,46 м.д. Также синглет протона ароматического амина имеет химический сдвиг равный 12,19 м.д.

2-(1-Гидрокси-1-метилэтил)-1*H*-бензимидазол в отличие от предыдущих производных, был получен конденсацией нитрильного производного гидроксикислоты с *o*-фенилендиамином в присутствии соляной кислоты с выходом 54 %. Строение вещества было подтверждено методом ЯМР-спектроскопии. В спектре в частности, идентифицированы триплеты двух концевых метильных групп с химическим сдвигом 1,58 м.д. Сигналы четырех ароматических протонов бензимидазольного фрагмента идентифицированы в области 7,08–7,44 м.д. Синглет протона ароматического амина имеет химический сдвиг равный 12,11 м.д.

Проведенные исследования показали, что для реакции 1,2-фенилендиамина с гидроксикарбоновыми кислотами наиболее эффективным конденсирующим агентом является борная кислота.

Зависимость потенциальной биологической активности от строения алкильного радикала в ряду производных 2-гидроксиалкил-1*H*-бензимидазола.

С помощью программы PASSOnline [6] была рассчитана потенциальная биологическая активность ряда синтезированных производных. Биологическая активность соединений оценивалась по ряду видов активности психотропной и антивирусной. Антивирусная активность оценивалась по двум критериям общая антивирусная и антириновирусная. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1
Зависимость расчетной биологической активности от строения алкильного радикала

№ п/п		Психотропная активность	Антивирусная активности	
			общая	Антириновирусная
1	2-Гидроксиметил-1 <i>H</i> -бензимидазол	0,537	0,656	0,656
2	2-(1-Гидроксиэтил)-1 <i>H</i> -бензимидазол	0,684	0,724	0,724
3	2-(1-Гидроксипропил)-1 <i>H</i> -бензимидазол	0,588	0,807	0,807
4	2-(1-Гидрокси-1-метилэтил)-1 <i>H</i> -бензимидазол	0,806	0,635	0,635

Проведенный анализ расчетной активности показал следующие данные:
во-первых, производные 2- α -гидроксиалкил-1*H*-бензимидазола обладают высокой расчетной психотропной и антивирусной активностью;
во-вторых, исходя из расчетных данных, с ростом длины линейного алкильного радикала возрастает антириновирусная активность;
в-третьих, максимальная расчетная психотропная активности наблюдается у 2- α -гидроксиизопропил-1*H*-бензимидазола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На примере синтеза ряда производных 2-гидроксиалкилбензимидазола показано, что борная кислота является более эффективным катализатором конденсации, чем 4*n* соляная и фосфорная кислоты.
2. Проведен сравнительный анализ расчетной биологической активности синтезированных соединений. Показано, что производные 2-гидроксиалкил-1*H*-бензимидазола обладают потенциальной психотропной и антивирусной активностью.
3. Установлен ряд зависимостей некоторых видов биологической активности от строения алкильного радикала и расположения гидроксильной группы относительно гетероциклического ядра.

Список литературы

1. Пожарский А. Ф. Успехи химии имидазолов / Пожарский А. Ф., Симонов А. М., Тарновский А. Д. // Успехи химии. – 1966. – Т. 35, № 2. – С. 271–285.
2. Grimmett M. R. Imidazole and benzimidazole synthesis / M. R. Grimmett // Academic Press – 1997. – P. 63–103.
3. Пожарский А. Ф. Практические работы по химии гетероциклов / А. Ф. Пожарский, В. А. Анисимова, Е. Б. Цупак – Ростов на Дону: РГУ, 1988. – 154 с.
4. Баевский М. Ю. Конденсация *o*-фенилендиамина с карбоновыми кислотами в присутствии ортофосфорной кислоты / М. Ю. Баевский, Д. Р. Меметов // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2015. – Т. 1 (67), №1. – С. 191–196.
5. Баевский А. М. Борные кислоты в реакциях конденсации карбоновых кислот с ароматическими аминами / А. М. Баевский, В. В. Цикалов, М. Ю. Баевский [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 339–346.
6. Pharma expert predictive services «PASS online» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V.N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: <http://pharmaexpert.ru/PASSOnline> (дата обращения: 14.10.2021).
7. Филимонов Д. А. Предсказание спектров биологической активности органических соединений с помощью веб-ресурса PASSOnline / Д. А. Филимонов, А. А. Лагунин, Т. А. Глориозова [и др.] // Химия гетероциклических соединений – 2014. – № 3. – С. 483–499.

**SYNTHESIS AND PREDICTED BIOLOGICAL ACTIVITY OF
2- α -HYDROXYALKYLBENZIMIDAZOLE DERIVATIVES**

*Baevsky M. Yu., Poddubov A. I., Ravaeva M. Yu., Tsikalov V. V., Tsikalova V. N.,
Soloviev V. N.*

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

Benzimidazole derivatives have a wide spectrum of biological activity. A large number of pharmaceutical preparations have been synthesized on the basis of these derivatives. These drugs have anticarcinogenic, antimicrobial, psychotropic effects. The main method for the preparation of 1H-benzimidazole derivatives is the condensation of o-phenylenediamine with carboxylic acids in the presence of inorganic acids (hydrochloric, polyphosphoric, phosphoric, and boric) as catalysts for the cyclization process. The aim of this work is to analyze the methods for the synthesis of 2- α -hydroxyalkyl-1H-benzimidazole derivatives, to select the optimal synthesis methods and to determine the potential biological activity of the synthesized compounds. Hydroxymethyl-1H-benzimidazole was obtained from glycolic acid with a yield of 83 % in the case of using hydrochloric acid and 93 % in the case of using boric acid. Both of these yields exceeded the yield of the same substance using phosphoric acid, where it was 70 % [4]. 2- (1-Hydroxyethyl) -1H-benzimidazole was synthesized from lactic acid in a yield of 71 % in the case of using hydrochloric acid and 83 % in the case of using boric acid. In the case of using phosphoric acid, according to literature data, the yield was 70 %. 2-Hydroxybutanoic acid for condensation with o-phenylenediamine was preliminarily obtained through the stage of synthesis of the bromo derivative of butanoic acid. The resulting 2-hydroxybutanoic acid was condensed with o-phenylenediamine only in the presence of hydrochloric acid in 72 % yield. The structure of the substance was confirmed by NMR spectroscopy. 2- (1-Hydroxy-1-methylethyl) -1H-benzimidazole, in contrast to the previous derivatives, was obtained by condensation of a nitrile hydroxy acid derivative with o-phenylenediamine in the presence of hydrochloric acid in 54 % yield. The structure of the substance was confirmed by NMR spectroscopy. Studies have shown that boric acid is the most effective condensing agent for the reaction of 1,2-phenylenediamine with hydroxycarboxylic acids. These studies have shown that boric acid is the most effective condensing agent for the reaction of 1,2-phenylenediamine with hydroxycarboxylic acids. Analysis of the predicted activity showed that derivatives of 2- α -hydroxyalkyl-1H-benzimidazole have a high calculated psychotropic and antiviral activity.

Keywords: α -hydroxycarboxylic acid, o-phenylenediamine, condensation, psychotropic activity, antiviral activity, benzimidazole, PASS.

References

1. Pozharsky A. F., Simonov A. M., Tarnovsky A. D. Advances in the chemistry of imidazoles, *Advances in chemistry*, **35(2)**, 271 (1966). (in Russ.)
2. Grimmett M. R. Imidazole and benzimidazole synthesis, *Academic Press*, 63 (1997).
3. Pozharsky A. F., Anisimova V. A., Tsupak E. B. Practical work on the chemistry of heterocycles. (Rostov on Don: Rostov State University, 1988). (in Russ.)
4. Baevsky M. Yu., Memetov D. R. Condensation of o-phenylenediamine with carboxylic acids in the presence of orthophosphoric acid. *Scientific notes of Taurida National University named after V. I. Vernadsky. Series "Biology, Chemistry"*, **1(67)**, 191, (2015). (in Russ.)
5. Baevsky A. M., Tsikalov V. V., Baevsky M. Yu., Sheludko A. B. Boric acids in condensation reactions of carboxylic acids with aromatic amines *Scientific notes of Taurida National University named after V. I. Vernadsky. Series "Biology, Chemistry"*, **24 (63(2))**, 339, (2011). (in Russ.)
6. Pharma expert predictive services «PASS online» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V.N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: <http://pharmaexpert.ru/PASSOnline>.
7. Filimonov D. A., Lagunin A. A., Gloriosova T. A., Rudik A. V., Druzhilovsky D. S., Pogodin P. V., Poroikov V. V. Prediction of the spectra of biological activity of organic compounds using the web resource PASSOnline, *Chemistry of heterocyclic compounds*, **3**, 483 (2014). (in Russ.)

УДК 542.06:543.421/.424

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-306-315

СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ *N*-ВИНИЛАМИДА

Мокишина Н. Я.¹, Пахомова О. А.², Соколова А. В.², Закусилов В. П.¹, Кузнецов И. Е.¹

¹*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия*

²*ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина», Елец, Россия*
E-mail: moksnad@mail.ru

В статье приводится обоснование синтеза экологически безопасных водорастворимых полимеров на основе *N*-виниламида, применяемых в различных технологических процессах. Актуальность работы связана с решением экологических задач по созданию биоразлагаемых материалов и минимизацией негативного влияния полимерных материалов на окружающую среду. Цель работы заключалась в синтезе и характеристике полимеров на основе *N*-виниламида. Разработаны условия синтеза поли-*N*-винилпирролидона, поли-*N*-винилкапролактама, поли-*N*-винилформамида и полиакриламида, включающие температуру и время синтеза. В качестве растворителей применяли спирты различного строения, гексан и дистиллированную воду, термическое иницирование проводили с помощью динитрила азо-*бис*-изомаляной кислоты. Рассчитаны средневязкостная молекулярная масса и характеристическая вязкость полученных полимеров. Методом радикальной полимеризации получены полимеры с молекулярной массой от 10000 до 94000.

Ключевые слова: водорастворимые полимеры, синтез, молекулярная масса, характеристическая вязкость, ИК-спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и применение полимеров непосредственно или опосредованно связано с воздействием на организм человека, на окружающую среду в целом. Последнее особенно важно после использования полимеров и изделий из них, когда отработанные материалы подвергаются захоронению в почве, а вредные вещества, высвобождающиеся при разложении полимерного материала, загрязняют почву, сточные воды, ухудшая состояние окружающей среды. Полимеры на основе *N*-виниламидов привлекают внимание исследователей из-за наличия практически значимых свойств у этих продуктов. Среди них стоит особо отметить высокую комплексообразующую способность, биосовместимость, термо- и *pH*-чувствительность, растворимость в широком спектре растворителей, некоторые представители способны растворяться также в воде [1–4]. Благодаря уникальным физико-химическим, конструкционным и технологическим свойствам полимерные материалы широко применяются в различных областях человеческой деятельности, что поставило перед специалистами ряд важных проблем, включая и проблему охраны окружающей среды. Актуальность решения экологических проблем обусловила

жесткие требования к полимерам и технологиям их получения: производство полимеров должно быть экологически чистым или, по крайней мере, иметь минимальное влияние на окружающую среду; полимеры должны быть технологически перерабатываемыми после окончания их эксплуатации или биodeградируемыми [5].

Представителей класса поливиниламидов можно разделить на две большие группы: линейные и циклические поли-*N*-виниламиды. Самым изученным линейным полимером является поли-*N*-винилформамид [6, 7]. Среди представителей класса циклических поли-*N*-виниламидов особое место занимают поли-*N*-винилпирролидон и поли-*N*-винилкапролактан [1, 8–10]. Поли-*N*-винилпирролидон обладает ярко выраженной комплексобразующей способностью к различным классам соединений, среди которых неорганические ионы, заряженные органические молекулы, полимеры природного и синтетического происхождения. На основе поли-*N*-винилпирролидона создаются новые формы лекарственных средств, особенно инъекционных форм, применение которых в растворе было затруднено из-за плохой растворимости в воде. В этом случае удаётся реализовать в полной мере физиологическую активность низкомолекулярного лекарственного вещества. В зависимости от величины молекулярной массы поли-*N*-винилпирролидон используется, главным образом, в следующих направлениях: в качестве основы кровезамещающих растворов, для дезинтоксикации организма, для продления действия лекарственных препаратов, в производстве таблеток [11]. На его основе готовят препараты пролонгированного действия с антибиотиками, гормонами и анальгетиками. Для поли-*N*-винилкапролактама также характерно образование комплексов с большим числом низко- и высокомолекулярных соединений: неорганическими анионами, красителями, фенолами, поверхностно-активными веществами, белками [8].

Цель работы заключается в осуществлении синтеза и характеристике некоторых водорастворимых полимеров виниламидного ряда для дальнейшего применения в анализе объектов со сложной матрицей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Способ проведения полимеризации оказывает значительное влияние на свойства получаемого продукта. Радикальную полимеризацию циклических *N*-виниламидов проводят в присутствии пероксидных соединений. Установлено, что органические пероксиды регулируют молекулярную массу полимеров. Особенность полимеризации в присутствии органических пероксидов состоит в том, что она протекает при довольно высокой температуре (140–300 °С). Для понижения температуры процесса в реакционную смесь вводят вещества, способствующие разложению органических пероксидов. Термическое инициирование можно проводить с помощью азосоединений, в том числе азо-бис-изобутилонитрила, в присутствии которых, в отличие от H₂O₂ можно синтезировать полимеры с более высокой молекулярной массой [12]. В качестве растворителей применяют спирты (метилловый, изопропиловый, бутиловый и изобутиловый), которые влияют на скорость и величину молекулярных масс полимеров.

В процессах гомополимеризации использовали свежеперегнанные или перекристаллизованные мономеры («Sigma Aldrich», Германия). В работе

синтезированы и изучены некоторые характеристики водорастворимых полимеров различного строения: поли-*N*-винилпирролидон (ПВП), поли-*N*-винилкапролактама (ПВК), поливинилформамид (ПВФ), полиакриламид (ПАА). Эти полимеры отличаются экологической безопасностью, экономической эффективностью, высокой комплексообразующей способностью [2, 4, 7, 9, 10, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В синтезе поли-*N*-винилпирролидона использовали товарный *N*-винилпирролидон, которому отвечает $T_{\text{кип}} 65\text{--}66\text{ }^\circ\text{C}/1.5\text{ мм рт.ст.}; \rho=1.0458\text{ г/см}^3\text{ (}25\text{ }^\circ\text{C)}; n_D^{20}=1.5132$. Мономер перегонялся под вакуумом при $71\text{--}72\text{ }^\circ\text{C}/2.5\text{ мм рт.ст.}$ с добавлением ингибитора полимеризации гидрохинона. Для получения поли-*N*-винилкапролактама использовали товарный *N*-винилкапролактама, $T_{\text{пл}} 32\text{--}34\text{ }^\circ\text{C}; T_{\text{кип}} 92\text{--}93\text{ }^\circ\text{C}/1\text{ мм рт.ст.}$, который перекристализовывали из гексана (ХЧ).

В синтезе поли-*N*-винилформамида применяли *N*-винилформамид, $T_{\text{кип}} 74\text{ }^\circ\text{C}/11\text{ мм рт.ст.}; \rho=1.049\text{ г/см}^3\text{ (}25\text{ }^\circ\text{C)}$. Мономер перегоняли в вакууме при $64\text{--}66\text{ }^\circ\text{C}/2.5\text{ мм рт.ст.}$ с добавлением ингибитора гидрохинона. В синтезе полиакриламида использован акриламид, $T_{\text{пл}} 84\text{--}85\text{ }^\circ\text{C}, T_{\text{кип}} 215\text{ }^\circ\text{C}; \rho=1.122\text{ г/см}^3\text{ (}25\text{ }^\circ\text{C)}$. Мономер перекристализовывали из этанола (ХЧ), $T_{\text{пл}} 84\text{ }^\circ\text{C}$. Структуры элементарных звеньев полученных полимеров приведены на рис. 1.

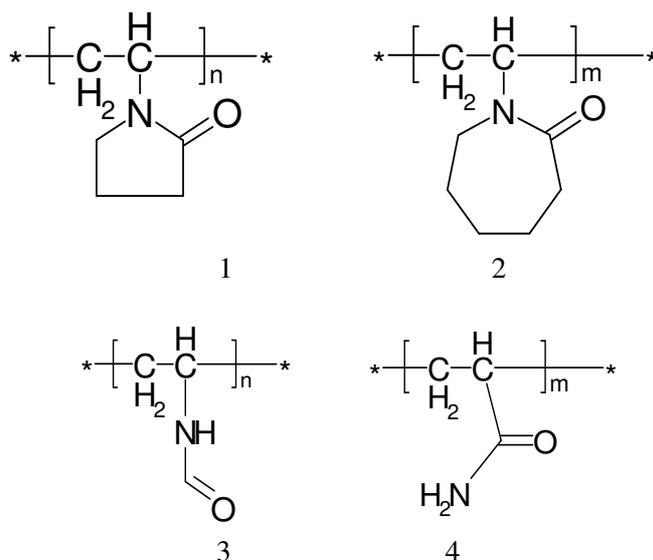


Рис. 1. Структуры элементарных звеньев ПВП (1), ПВКЛ (2), ПВФ (3), ПАА (4).

В качестве растворителей в работе использовали этанол, диэтиловый эфир и изопропиловый спирт, гексан, би- и дистиллированную воду. Спирты сушили и абсолютизировали общеизвестными способами, после чего перегоняли. В качестве

инициатора использовали динитрил азо-*бис*-изомасляной кислоты (ДАК), который дважды перекристалizовывали из этанола, после чего $T_{пл}$ составляла 102–103 °С.

При синтезе полимеров, различающихся величиной молекулярной массы M_n , варьировалось количество мономера, остальные условия не изменяли. Для работы синтезированы полимеры со средневязкостной молекулярной массой (M_n) от 10000 до 94000 [14].

Полимеризацию проводили по радикальному механизму в растворе. В стеклянные ампулы вносили определенное количество мономера, добавляли в раствор инициатор ДАК. После этого вносили оставшуюся часть растворителя и перемешивали. Содержимое ампулы дегазировали в вакууме при многократном замораживании жидким азотом. Ампулу запаивали и помещали в термостат на 6–8 часов при $T = 65 \pm 2$ °С. По окончании полимеризации полимер высаживали из раствора гексаном. Полимер пересаждали для удаления примесей, затем сушили в вакуумном сушильном шкафу при $T = 50–55$ °С.

Для определения характеристической вязкости полимеров готовили 1 %-ный раствор в воде, 0.2 М водном растворе NaCl или этаноле. Полученный раствор отфильтровывали, его концентрацию определяли методом «сухого остатка» на анализаторе влажности «AND MX-50» (Япония).

Измерения проводили в вискозиметре Уббелоде с висязим уровнем при $T = 20 \pm 1$ °С. Измеряли время истечения чистого растворителя (τ_0) и полученных растворов полимеров. Измерения времени истечения растворов полимеров проводили от более концентрированного к разбавленному, прибавляя каждый раз определенный объем растворителя.

Из полученных экспериментальных данных рассчитывали относительную вязкость $\eta_{отн} = \tau/\tau_0$, удельную вязкость $\eta_{уд} = 1 - \eta_{отн}$ и приведенную вязкость $\eta_{уд}/c$. Экстраполяцией к нулевой концентрации графической зависимости приведенной вязкости определяли характеристическую вязкость $[\eta]$. Величину средневязкостной молекулярной массы полимеров M_n вычисляли по уравнению Марка-Куна-Хаувинка из экспериментально найденных величин характеристической вязкости $[\eta]$:

$$[\eta] = 1,5 \cdot 10^{-4} M_n^{0,68}.$$

Известно, что молекулярная масса полимеров – величина не постоянная, зависящая от условий полимеризации (табл. 1). Чаще всего молекулярную массу полимеров измеряют вискозиметрически, что позволяет за короткий промежуток времени установить характеристическую вязкость полимера.

В ряду поли-N-виниламидов при общей полярной природе амидной группы строение боковых заместителей существенно влияет на их растворимость в воде. Принципиально важным свойством водорастворимых полимеров является способность взаимодействовать в водных растворах со многими низко- и высокомолекулярными соединениями. Полимеризация циклических N-виниламидов возможна под действием γ и УФ-излучения, такие полимеры находят свое применение в медицине [15].

Таблица 1
Влияние концентрации мономеров в изопропанол на величину молекулярной массы полимеров ([ДАК]=10⁻² моль/дм³, 65 °С, 8 час)

№ п/п	Концентрация мономера		Характеристическая вязкость, η , г/дл (25 ⁰ С, этанол)	$M_{\eta} \cdot 10^{-3}$
	Масс. %	С, моль/дм ³		
поли- <i>N</i> -винилпирролидон				
1	10	0,94	0,16	18
2	15	1,41	0,21	26
3	20	1,87	0,36	52
4	25	2,35	0,44	70
5	30	2,82	0,56	94
поли- <i>N</i> -винилкапролактam				
1	1	0,07	0,09	12
2	2	0,14	0,12	18
3	5	0,26	0,17	32
4	10	0,58	0,24	50
полиакриламид				
1	10	1,50	0,09	20
2	20	2,99	0,13	34
3	25	3,75	0,17	56
4	30	4,51	0,39	82
поли- <i>N</i> -винилформамид				
1	10	1,50	0,22	25
2	20	2,99	0,35	38
3	25	3,75	0,48	59
4	30	4,51	0,71	108

Полимеры поли-*N*-виниламидного ряда характеризуются наличием гидратной оболочки, состоящей из 3–5 слоев. Например, ПВК способен образовывать более плотную оболочку из диполей воды (до 12 гидратных слоев). Молекулы воды образуют водородные связи с С=О-группами полимеров. Поли-*N*-винилкапролактam обладает способностью к растворению во многих соединениях, в том числе в толуоле, бензоле, ацетоне, четыреххлористом углероде, хлороформе и др. [8].

Известно [1], что карбонильная группа ПВК взаимодействует с двумя молекулами воды, которые, в свою очередь, образуют водородные связи со следующими молекулами полимера (рис. 2). На комплексообразование водорастворимых полимеров со звеньями ВК большое влияние оказывают поляризованные молекулы воды, которые играют роль цепочечных мостиковых ассоциатов.

Для характеристики полученных полимеров снимали ИК-спектры водных растворов ПВП, ПВК, ПВФ и ПАА (рис. 3). ИК-спектроскопию проводили на приборе «Bruker Vertex 70» («Bruker Optics», Германия), с приставкой «DIKE

Miracle», с Фурье преобразователем методом нарушенного полного внутреннего отражения. Условия сканирования: 32 сканирования, разрешение 4 см^{-1} , диапазон съемки: $4000\text{--}550 \text{ см}^{-1}$.

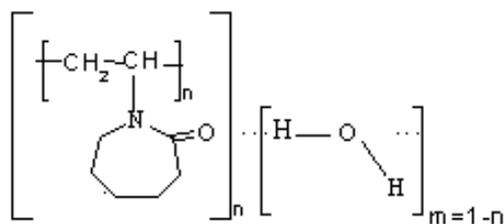


Рис. 2. Фрагмент гидратной оболочки ПВК.

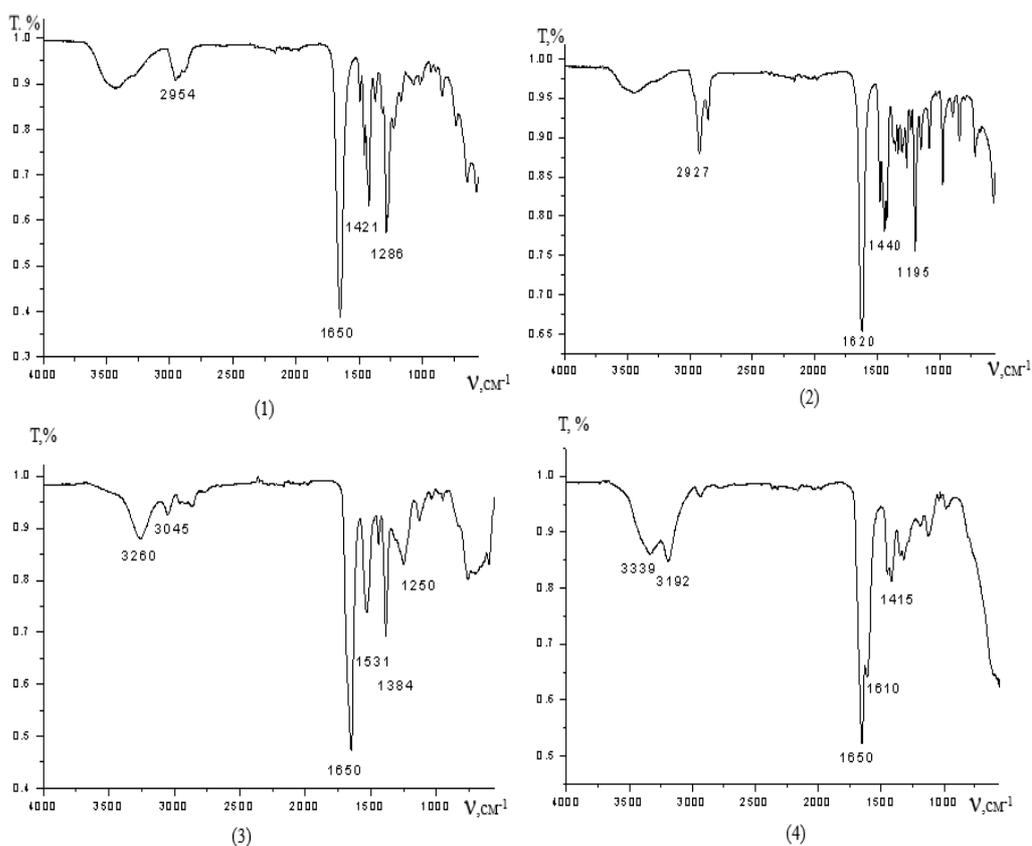


Рис. 3. ИК-спектры водных растворов ПВП (1), ПВК (2), ПВФ (3), ПАА (4).

В табл. 2 приведены отнесения полос поглощения в полученных спектрах. В ИК-спектрах образцов синтезированных полимеров отсутствуют полосы

поглощения $\nu_{C=C}$, отвечающие валентным колебаниям $C=C$. Это позволяет заключить, что полимеризация мономеров протекает за счёт раскрытия двойной связи винильной группы. Следует отметить, что увеличение частоты валентных колебаний ОН-групп молекул воды, связанных с $>C=O$ -группой полимеров, в частности ПВК, может свидетельствовать об ослаблении водородной связи в полимер-гидратном комплексе [10].

Таблица 2
Отнесение полос поглощения в ИК-спектрах водных растворов

Волновое число, ν , см^{-1}	Отнесение полос
612	Деформационные колебания группы C-H
1108	Валентные колебания группы -C-N-
1292	Деформационные колебания группы C=O
1443	Плоские деформационные колебания группы C-H
1655	Валентные колебания группы -C=O-; полоса Амид I
2949	Симметричные валентные колебания группы -CH ₃
2980	Симметричные валентные колебания группы =CH ₂
3494	Валентные колебания группы N-H
3620, 3601	Колебания свободной ОН-группы полимеров

Полученные полимеры успешно применяют для извлечения из водных растворов гидратированных комплексов металлов и других веществ. Карбоцепные полимеры на основе *N*-виниламидов с алифатическими и циклическими заместителями наряду с комплексообразующей способностью к низко- и высокомолекулярным соединениям проявляют термочувствительность, иммуностимулирующую и биологическую активность, флокулирующее действие и сорбционную способность по отношению к ионам металлов, представляют интерес для био- и нанотехнологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе синтезированы полимеры различного строения на основе *N*-виниламида: поли-*N*-винилпирролидон, поли-*N*-винилкапролактан, поли-*N*-винилформамид и полиакриламид с молекулярной массой от 10000 до 94000. Приведены условия полимеризации, включающие температуры кипения и плавления, время синтеза, концентрацию мономеров и инициатора.
2. Из полученных экспериментальных данных рассчитана характеристическая вязкость и средневязкостная молекулярная масса полимеров, которые влияют на их физико-химические свойства и комплексообразующую способность.
3. Полимеры охарактеризованы методом ИК-спектроскопии, приведены их характеристические частоты. Отнесение полос в ИК-спектрах водных

растворов полимеров позволило установить структуру полимер-гидратных комплексов.

Список литературы

1. Кирш Ю. Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламиды / Ю. Э. Кирш. – М.: Наука, 1998. – 254 с.
2. Быковский Д. В. Влияние строения бокового азольного заместителя на экстракционные способности сополимеров на основе N-виниламидов / Д. В. Быковский, В. А. Кузнецов, А. В. Сорокин [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, № 5. – С. 804–811.
3. Панарин Е. Ф. Синтез и иммуномоделирующие свойства поли-N-винилформамида / Е. Ф. Панарин, Н. А. Нестерова, И. И. Гаврилова [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 2010. – Т. 44, № 10. – С. 7–8.
4. Мокшина Н. Я. Разделение бинарных смесей гистидина, пролина и метионина в экстракционных системах на основе водорастворимых полимеров винилового ряда / Н. Я. Мокшина, Д. В. Быковский, Г. В. Шаталов [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2016. – Т. 71, № 2. – С. 208–211.
5. Шутилин Ю. Ф. Физикохимия полимеров / Ю. Ф. Шутилин. – Воронеж: ВГУИТ, 2012. – 840 с.
6. Kuznetsov V. A. Synthesis of N-vinylformamide and 1-vinyl-(1-methacryloyl)-3,5-dimethylpyrazole copolymers and their extraction ability in relation to histidine in water-salt media / V. A. Kuznetsov, M. S. Lavlinskaya, I. V. Ostankova [et al.] // Polymer bulletin. – 2018. – Vol. 75, № 3. – P. 1237–1251.
7. Мокшина Н. Я. Экстракционные системы на основе N-винилформамида для извлечения и разделения циклических аминокислот / Н. Я. Мокшина, В. М. Шкинев, О. А. Пахомова [и др.] // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. – 2020. – Т. 492–493, № 1. – С. 13–17.
8. Чурилина Е. В. Полимеры на основе N-винилкапролактама / Е. В. Чурилина, Г. В. Шаталов. – Воронеж: ВГТА, 2011. – 171 с.
9. Шаталов Г. В. Экстракция метионина в двухфазных водно-солевых системах с циклическими поли-N-виниламидами / Г. В. Шаталов, Д. В. Быковский, Н. Я. Мокшина [и др.] // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, № 7. – С. 73–77.
10. Шаталов Г. В. Соплимеры N-винилкапролактама с 1-винил- и 1-мета-крилоил-3,5-диметилпиразолом в качестве сорбентов незаменимых α -аминокислот в жидко- и твердофазной экстракции / Г. В. Шаталов, М. С. Лавлинская, О. А. Пахомова [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2016. – Т. 89, Вып. 1. – С. 112–118.
11. Панарин Е. Ф. Полимеры – носители биологически активных веществ / Е. Ф. Панарин, Н. А. Лавров, М. В. Соловский, [и др.] – СПб.: Профессия, 2014. – 304 с.
12. Трофимов Б. А. N-Винилпироллы / Б. А. Трофимов, А. И. Михалева. – Новосибирск: Наука, 1984. – 262 с.
13. Mokshina N. Ya. Application of Water-Soluble Polymers for Extraction Separation of Amino Acids of Various Structures / N. Ya. Mokshina, D. V. Bykovskiy, G. V. Shatalov [et al.] // American Journal of Applied Sciences. – 2015. – № 12. – P. 1032–1041.
14. Мокшина Н. Я. Экологически безопасные системы на основе водорастворимых полимеров для экстракции и определения аминокислот / Н. Я. Мокшина, Г. В. Зибров, В. П. Закусиллов [и др.] // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – № 4. – С. 26–32.
15. Коренман Я. И. Закономерности экстракции витаминов группы В синтетическими водорастворимыми полимерами / Я. И. Коренман, А. В. Зыков, Н. Я. Мокшина [и др.] // Журнал физической химии. – 2011. – Т. 85, № 11. – С. 2142–2146.

SYNTHESIS AND CHARACTERISTICS OF ECOLOGICALLY SAFE WATER-SOLUBLE POLYMERS BASED ON N-VINYLAMIDE

Mokshina N. Ya.¹, Pakhomova O. A.², Sokolova A. V.², Zakusilov V. P.¹, Kuznetsov I. E.¹

¹Military educational and scientific center of the Air Force "Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Voronezh, Russia

²Yelets State University named after I. A. Bunin, Yelets, Russia

E-mail: moksнад@mail.ru

The article provides a rationale for the synthesis of environmentally friendly water-soluble polymers based on N-vinyl amide, used in various technological processes. The relevance of the work is associated with solving environmental problems of creating biodegradable materials and minimizing the negative impact of polymer materials on the environment. The aim of the work was to synthesize and characterize polymers based on N-vinylamide. The conditions for the synthesis of poly-N-vinylpyrrolidone, poly-N-vinylcaprolactam, poly-N-vinylformamide and polyacrylamide, including the temperature and time of synthesis, have been developed. Alcohols of various structures, hexane and distilled water were used as solvents; thermal initiation was carried out using dinitrile azo-bis-isobutyric acid. The viscosity average molecular weight and intrinsic viscosity of the obtained polymers were calculated. Polymers with molecular weights from 10,000 to 94,000 were obtained by radical polymerization. Polymers of the poly-N-vinylamide series are characterized by the presence of a hydration shell consisting of several layers. The structure of the hydration shell of poly-N-vinylcaprolactam, in which water molecules form hydrogen bonds with the carbonyl group of the polymer, is presented. To characterize the polymers, the IR spectra of their aqueous solutions were obtained, and the assignment of absorption bands in the obtained spectra was given. The synthesized polymers have good complexing ability, which expands the possibilities of their application for the extraction of inorganic and organic substances.

Keywords: water-soluble polymers, synthesis, molecular weight, intrinsic viscosity, IR spectroscopy.

References

1. Kirsch Yu. E. *Poly-N-vinylpyrrolidone and other poly-N-vinyl amides*, 254 p. (Moscow: Moscow: Nauka, 1998) (in Russ.).
2. Bykovskii D. V., Kuznetsov V. A., Sorokin A. V., Lavlinskaya M. S. The effect of the side azole substitutes on extraction ability of the copolymers based on N-vinylamides, *Sorption and chromatographic processes*, **17** (5), 804 (2017) (in Russ.).
3. Panarin E. F., Nesterova N. A., Gavrilova I. I., Ivanova N. P., Belokhvostova A. T., Potapenkova L. S. Synthesis and immunomodulating properties of poly-N-vinylformamide, *Chemical and pharmaceutical journal*, **44** (10), 7 (2010). (in Russ.).
4. Mokshina N. Ya., Bykovskiy D. V., Shatalov G. V., Pakhomova O. A. Separation of binary mixtures of histidine, proline and methionine in the extraction systems based on water-soluble polymers of the vinyl series, *Journal of Analytical Chemistry*, **71** (2), 201 (2016).
5. Shutilin Yu. F. *Physicochemistry of polymers*, 804 p. (Voronezh: VGUIT, 2012) (in Russ.).

6. Kuznetsov V. A., Lavlinskaya M. S., Ostankova I. V., Shatalov G. V., Shikhaliev Kh. S., Ryzhkova E. A. Synthesis of N-vinylformamide and 1-vinyl-(1-methacryloyl)-3,5-dimethylpyrazole copolymers and their extraction ability in relation to histidine in water-salt media, *Polymer bulletin*, **75** (3), 1237 (2018).
7. Mokshina N. Ya., Shkinev V. M., Shatalov G. V., Pakhomova O. A., Spivakov B. Ya. Extraction systems based on N-vinylformamide for the extraction and separation of cyclic amino acids, *Doklady Chemistry*, **493** (2), 113, (2020).
8. Churilina E. V., Shatalov G. V. *Polymers based on N-vinylcaprolactam*, 171 p. (Voronezh: VGTA, 2011) (in Russ.).
9. Bykovskiy D. V., Shatalov G. V., Mokshina N. Ya., Kuznetsov V. A., Poyarkova T. N. Extraction of methionine in two-phase water-salt systems with cyclic poly-N-vinyl amides, *Izvestiya vuzov. Chemistry and chemical technology*, **57** (7), 73 (2014). (in Russ.).
10. Shatalov G. V., Luvlinskaya M. S., Kuznetsov V. A., Pakhomova O. A., Mokshina N. Ya. Copolymers of N-vinylcaprolactam with 1-vinyl- and 1-methacryloyl-3,5-dimethylpyrazole as sorbents of essential α -amino acids in liquid and solid phase extraction, *Journal of Applied Chemistry*, **89** (1), 140 (2016).
11. Panarin E. F., Lavrov N. A., Solovsky M. V., Shalnova L. N. *Polymers – carriers of biologically active substances*, 304 p. (SPb : Professiya, 2014) (in Russ.).
12. Trofimov B. A., Mikhalev A. I. *N-Vinilpirolly [N-Vinylpyrrolly]*, 262 p. (Novosibirsk: Nauka, 1984) (in Russ.).
13. Mokshina N. Ya., Bykovskiy D. V., Pakhomova O. A., Shatalov G. V. Application of Water-Soluble Polymers for Extraction Separation of Amino Acids of Various Structures, *American Journal of Applied Sciences*, (12), 1032 (2015).
14. Mokshina N. Ya., Zibrov G. V., Zakusilov V. P., Kuznetsov I. E., Larionov A. N. Environmentally friendly systems based on water-soluble polymers for extraction and determination of amino acids, *Ecology of urbanized territories*, (4), 26, (2020). (in Russ.).
15. Korenman Ya. I., Zykov A. V., Mokshina N. Ya., Bykovskiy D. V., Shatalov G. V. Regularities of the extraction of B-vitamins, synthetic water-soluble polymers, *Russian Journal of Physical Chemistry*, **85** (11), 2000, (2011).

УДК 543.42.062:543.544.5:615.073:615.322

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-3-316-322

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУММЫ ФЛАВОНОИДНЫХ ГЛИКОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ ГИНКГО ДВУЛОПАСТНОГО (*GINKGO BILOBA* L.)

Самотруева М. А., Ажикова А. К., Сергалиева М. У.

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Астрахань, Россия
E-mail: alfia-imacheva@mail.ru*

Реликтовое растение Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) является перспективным сырьем для использования в фитотерапии. Для идентификации содержания флавоноидов в водно-спиртовых экстрактах (при различном соотношении вода:этиловый спирт) листьев Гинкго двулопастного использовали методику количественного определения суммы флавоноидных гликозидов в растительном сырье. В ходе сравнительного анализа суммы флавоноидов, экстрагируемых из листьев Гинкго двулопастного в водно-спиртовых извлечениях с различной концентрацией этилового спирта (40 %, 60 %, 70 % и 80 %-ных растворах) выявлено, что наибольший выход суммы флавоноидов наблюдается при действии экстрагента – 60 %-ного водного раствора этанола. Полученные экспериментальные данные флавоноидного состава свидетельствуют о значительном содержании флавоноидов в листьях Гинкго двулопастного, что определяет широкий спектр физиологической и фармакологической активности растения. Исследованный растительный источник является перспективным сырьем для дальнейших разработок новых эффективных лекарственных форм.

Ключевые слова: Гинкго билоба, экстракт, биологически активные вещества, флавоноиды, билобалиды, гинкголиды, терпены, фармакологическая активность.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность лечения заболеваний человека лекарственными растениями свидетельствует об их терапевтической ценности и рациональности применения. Известно, что препараты растительного происхождения занимают особое место и характеризуются уникальным химическим составом, широким спектром действия, эффективностью при пролонгированном применении, отсутствием токсичности и побочных эффектов, доступностью по критериям ресурсообеспечения и возобновляемости. Актуальным остается вопрос фитохимического изучения лекарственного растительного сырья и получения из него комплекса биологически активных веществ для дальнейшего внедрения в фармацевтическую практику.

С этих позиций научный интерес представляет растение Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) как богатейший источник биологически активных соединений, оказывающих полифункциональное влияние на организм [1]. Основная часть биологически активных веществ сосредоточена в листьях. Уникальный химический состав листьев Гинкго определяет широкий спектр его фармакологических и

физиологических свойств [2]. Среди биологически активных веществ Гинкго двулопастного известны биофлавоноиды – кверцетин, изорамнетин, кемпферол, флавоноидные гликозиды – гинкгетин, билобетин, мирицетин, тритерпеновые лактоны гингколид и билобалид, органические кислоты, аминокислоты (тимин, аспарагин), эфирные масла, ароматические соединения, воск, ферменты, макроэлементы (Са, Р, К) и другие. Известно, что в листьях данного растения содержатся флавоноидные гликозиды (флавоноиды) [3], обладающие разными видами физиологической активности, в том числе антиоксидантной, антиатеросклеротической и нейромедиаторной [4–10].

Вместе с тем сведений по количественному содержанию биологически активных соединений в листьях Гинкго двулопастного недостаточно. В связи с этим, научный интерес представляет изучение суммы флавоноидов в экстракте высушенных листьев растения Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.). Целью данной работы явилось количественное определение содержания суммы флавоноидных гликозидов в высушенных листьях Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.), произрастающего на территории Краснодарского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу эксперимента была положена методика количественного определения суммы флавоноидов в растительном сырье методом дифференциальной спектрофотометрии, основанная на способности флавоноидов образовывать с ионами различных металлов окрашенные комплексы [11]. Измерение оптических плотностей проводили на спектрофотометре модели ПЭ-5400 В (Россия). Биологически активные соединения из высушенного и измельченного сырья экстрагировали 40 %, 60 %, 70 % и 80 %-ным раствором этилового спирта.

Материалом для настоящего исследования служило сырье (листья) Гинкго двулопастного. Сбор листьев был осуществлен в ранний осенний период 2020 года на территории Краснодарского края. Сырье было высушено воздушно-теневым способом. Потеря массы сырья при высушивании составила 7 %.

Методика исследования. 0,5 г воздушно-высушенного измельченного сырья (размер частиц 1 мм) листьев Гинкго двулопастного помещали в колбу на 100 мл, заливали 15 мл 40 %-ного этанола (C_2H_5OH) и нагревали на водяной бане в течение 30 минут при 80 °С с обратным холодильником. После этого извлечение охлаждали и фильтровали в мерную колбу объемом 50 мл. Опыт повторяли дважды порциями по 15 мл 40 %-ным этиловым спиртом. Полученный объем в мерной колбе доводили до метки добавлением 40 %-ного этилового спирта и тщательно перемешивали. Эту колбу принимали за раствор А.

Затем 5 мл раствора А помещали в мерную колбу на 25 мл, прибавляли 1 мл 2 %-ного спиртового раствора хлорида алюминия ($AlCl_3$), 0,5 мл 5 %-ного раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) и доводили до метки этанолом в концентрации 95 %. Через 30 минут измеряли оптическую плотность полученного раствора при длине волны 400 nm относительно раствора сравнения.

Для приготовления раствора сравнения 5 мл раствора А помещали в мерную колбу на 25 мл, прибавляли 10 мл 95 %-ного этанола и 0,5 мл 33 %-ной уксусной

кислоты (CH₃COOH). Полученный объем доводили до метки добавлением 95 %-ного спирта этилового и тщательно перемешивали.

Одновременно с этим измеряли оптическую плотность раствора стандартного образца рутина.

Приготовление раствора стандартного образца рутина. Около 0,05 г (точная навеска) рутина (ФС 42-2508-96) помещали в мерную колбу объемом 100 мл, прибавляли 70 мл спирта этилового 95 %, перемешивали до полного растворения и доводили до метки этим же растворителем (раствор А). Затем 1 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, добавляли 0,5 мл 33 % раствора кислоты уксусной и 2 мл 2 % раствора алюминия хлорида и доводили объем раствора спиртом этиловым 95 % до метки, перемешивали. Через 30 минут измеряли оптическую плотность полученного раствора при 400 nm относительно раствора Б (1 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, добавляли 0,5 мл 33 % раствора уксусной кислоты и доводили спиртом этиловым 95 % до метки).

Содержание суммы флавоноидных гликозидов определяли по формуле:

$$X = \frac{A_x \times a_{cm} \times 10 \times 100}{A_{cm} \times a_x \times (100 - W)},$$

где A_x – оптическая плотность испытуемого раствора; A_{cm} – оптическая плотность раствора стандартного образца рутина; a_{cm} – масса стандартного образца рутина, г; a_x – масса навески сырья, г; W – влажность, %.

В ходе исследования для установления оптимальных (технологических) условий для количественного определения (количественной идентификации) суммы флавоноидов в сырье Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.), была проведена серия экспериментов по экстрагированию воздушно-высушенных, измельченных листьев данного растения этиловым спиртом (водным раствором этилового спирта), как экстрагентом различной концентрации (40 %, 60 %, 70 % и 80 %-ным раствором этанола) по указанной методике.

Измерения оптической плотности растворов растительных экстрактов проводили в широком спектральном диапазоне от 310 до 410 nm для точного определения максимальных значений оптической плотности и, соответственно, содержания флавоноидов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения эксперимента были получены следующие результаты. При идентификации флавоноидных гликозидов с применением в качестве экстрагента 40 %-ного раствора этанола наблюдали максимум поглощения при длине волны 400 nm. Результаты исследования спектра поглощения суммы флавоноидных гликозидов водно-спиртового извлечения из листьев Гинкго двулопастного с алюминия хлоридом показали, что содержание суммы флавоноидов с концентрацией экстрагента 40 %, в изучаемом растении составило 0,94 % в пересчете на сухой растительный материал.

Экстракция флавоноидов с применением в качестве экстрагента 60 %-ного раствора спирта этилового показала, что максимум поглощения извлечения БАВ был достигнут при длине волны 400 nm. Количественное содержание флавоноидов в водно-спиртовом извлечении (с концентрацией экстрагента 60 %) высушенных листьев Гинкго двулопастный составляет 1,35 % в пересчете на сухой растительный материал.

При экстракции суммы флавоноидов с применением в качестве экстрагента 70 %-ного раствора этанола наблюдали максимальную оптическую плотность при длине волны 400 nm. По результатам исследования выявлено, что суммарное содержание флавоноидов в 70 %-ном экстракте листьев Гинкго двулопастного составляет 0,78 % в пересчете на сухой растительный материал.

При идентификации флавоноидных гликозидов с использованием экстрагента – 80 %-ного раствора этанола наблюдался максимум поглощения при длине волны 400 nm. Процентное содержание суммы флавоноидных гликозидов в 80 %-ном водно-этанольном экстракте листьев Гинкго билоба составило 0,91 % в пересчете на сухой растительный материал.

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что наибольший выход экстрактивных извлечений суммы флавоноидных гликозидов из сырья листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.) наблюдался в условиях экстрагирования 60 %-ным раствором этилового спирта. Результаты пересчета содержания флавоноидов на сухой растительный материал приведены в таблице 1, откуда видно, что в перерасчете на высушенный растительный материал уровень флавоноидов в 60 %-ном экстрагенте в 1,5 раза выше, чем в 40 % -, 70 %-, 80 %-ных водных растворах этанола.

Таблица 1
Сравнительная характеристика содержания флавоноидов в водно-спиртовых экстрактах листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.) при длине волны 400 nm

Концентрация спирта в экстрагенте	Оптическая плотность	Содержание флавоноидов, %
40 %	0,340	0,94
60 %	0,486	1,35
70 %	0,279	0,78
80 %	0,328	0,91

Таким образом, растение Гинкго двулопастный (*Ginkgo biloba* L.) представляет собой депо ценных биологически активных компонентов, что является основанием для дальнейших исследований по идентификации других биологически активных веществ и последующей оценке их физиологической и фармакологической активности с целью разработки новых фитосредств на его основе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе экспериментального исследования выявлены оптимальные условия и параметры экстрагирования флавоноидов из воздушно-высушенного сырья листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.). Проведена сравнительная оценка содержания флавоноидных гликозидов в извлечениях из листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.), полученных при разном соотношении вода:этиловый спирт.
2. Установлено, что оптимальной концентрацией экстрагента, обеспечивающей наибольший выход экстрактивных соединений из высушенных листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.), является 60 %-ный водно-спиртовой раствор этилового спирта.
3. Анализ результатов количественного определения флавоноидного состава экстрактов воздушно-высушенных листьев Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.), произрастающего на территории Краснодарского края, расширяет сырьевую базу отечественных лекарственных растений.
4. Полученные в ходе исследования экспериментальные данные по наличию флавоноидных гликозидов в листьях Гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.) свидетельствуют о значительном их содержании в данном растении, что определяет широкий спектр физиологической и фармакологической активности растения.

Список литературы

1. Катунина Е. А. Гинкго билоба: итоги полувекового опыта применения. Полиmodalность эффектов гинкго билоба: экспериментальные и клинические исследования / Е. А. Катунина // Неврология и ревматология. Приложение к журналу Consilium Medicum. – 2013. – № 2. – С. 53–57.
2. Литвинец Е. А. Гинкго билоба: фармакологические и лечебные свойства / Е. А. Литвинец, О. Р. Винтонив // Здоровье мужчины. – Профессионал-Ивент (Киев) – 2012. – Т. 1, № 40. – С. 37.
3. Васильев В. Г. Идентификация терпеновых лактонов и флавоногликозидов в препаратах на основе экстракта гинкго билоба и новый способ полуколичественной оценки содержания флавоногликозидов методом спектроскопии ЯМР ¹H / В. Г. Васильев, А. С. Прокопьев, Г. А. Калабин // Химия растительного сырья. – 2016. – № 3. – С. 85–93.
4. Бурчинский С. Г. Препараты Гинкго Билоба: по пути открытий в клинической нейрофармакологии / С. Г. Бурчинский // Международный неврологический журнал. – 2016. – Т. 4, № 82. – С. 83–87.
5. Кузнецова С. М. Применение экстракта гинкго билоба в системе реабилитации больных, перенесших инсульт / С. М. Кузнецова, В. В. Кузнецов, Д. В. Шульженко // Международный неврологический журнал. – 2016. – Т. 5, № 83. – С. 111–114.
6. Пономарев В. В. Эффективность экстракта Гинкго билоба в лечении легкого и умеренного когнитивного снижения сосудистого генеза с позиции доказательной медицины / В. В. Пономарев, Э. В. Барабанова // Медицинские новости. – 2016. – Т. 4, № 259. – С. 18–21.
7. Cui Y. Effect of Ginkgo biloba leaf extract on cerebral cortex amino acid levels in cerebral ischemia model rats / Y. Cui, H. Wu, M. Liu [et al.] // J Tradit Chin Med. – 2018 –Vol. 38, No. 5. – P. 676–684.
8. Eisevand F. The effects of Ginkgo biloba on metabolic syndrome: A review / F. Eisevand, B. M. Razavi, H. Hosseinzadeh // Phytother Res. – 2020. – Vol. 34, No.8. – P.1798–1811. doi: 10.1002/ptr.6646.
9. Hao F. Enhanced Neuroprotective Effects of Combination Therapy with Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells and Ginkgo biloba Extract (EGb761) in a Rat Model of Experimental Autoimmune Encephalomyelitis / F. Hao, A. Li, H. Yu [et al.] // Neuroimmunomodulation. – 2016. – Vol. 23, No. 1. – P. 41–57. doi: 10.1159/000437429.

10. Ji H. Ginkgo Biloba extract as an adjunctive treatment for ischemic stroke: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials / H. Ji, X. Zhou, W. Wei [et al.] // *Medicine (Baltimore)*. – 2020. – Vol. 99, No. 2. doi: 10.1097/MD.00000000000018568/
11. Корнельзен Д. А. Модификация методики количественного определения суммы флавоноидов в препаратах на основе экстракта Гинкго билоба / Д. А. Корнельзен, А. И. Бондаренко, А. А. Шмыгарева // В сборнике: Вопросы науки и образования: теоретические и практические аспекты. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, Чехия, 18 мая 2019 года. Под общей редакцией А. И. Вострецова. – Издательство: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич, Нефтекамск), 2019. – С. 30–36.

DETERMINATION OF FLAVONOID GLYCOSIDES SUM CONTENT IN LEAVES OF *GINKGO BILOBA* L.

Samotrueva M. A., Azhikova A. K., Sergaliev M. U.

*Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation
E-mail: alfia-imacheva@mail.ru*

It is known that preparations of plant origin occupy a special place and are characterized by a unique chemical composition, a wide spectrum of action, effectiveness in prolonged use, lack of toxicity and side effects, availability according to the criteria of resource supply and renewable. The issue of the phytochemical study of medicinal vegetal raw materials and the production of a complex of biologically active substances from it for further introduction into pharmaceutical practice remains relevant.

From these positions, the *Ginkgo biloba* L. plant is of scientific interest as the richest source of biologically active compounds that have a polyfunctional effect on the body. The *Ginkgo biloba* L. relict plant is a promising raw material for use in phytotherapy. Most biologically active substances are concentrated in leaves. Unique chemical composition of Ginkgo leaves determines a wide range of its pharmacological and physiological properties. Bioflavonoids are known among biologically active Ginkgo bioflavonoids – quercetin, isoramnetin, kempferol, flavonoid glycosides – ginkgetin, bilobetin, myricetin, triterpene lactones gingcolide and bilobalide, organic acids, amino acids (thymine, asparagine), essential oils. However, information on the quantitative content of biologically active compounds in Ginkgo leaves is not enough. In this regard, it is of scientific interest to study the sum of flavonoids in the extract of dried leaves of the *Ginkgo biloba* L. plant. The purpose of this work was to quantify the content of the sum of flavonoid glycosides in the dried leaves of *Ginkgo biloba* L., which grows in the Krasnodar Territory Russian Federation.

To identify the content of flavonoids in water-alcohol extracts (with a different ratio of water to ethyl alcohol) of *Ginkgo biloba* leaves, a method was used to quantify the sum of flavonoid glycosides in plant raw materials. In the course of the study, in order to establish optimal (technological) conditions for the quantitative determination (quantitative identification) of the sum of flavonoids in the *Ginkgo biloba* L. raw material, a series of experiments were carried out to extract air-dried, ground leaves of this plant with ethyl alcohol (an aqueous solution of ethyl alcohol), as an extractant of various

concentrations.

In the course of comparative analysis of the sum of flavonoids extracted from Ginkgo biloba leaves in water-alcohol extracts with different concentration of ethyl alcohol (40 %, 60 %, 70 % and 80 % solutions), it was revealed that the highest yield of the sum of flavonoids is observed under the action of extractant – 60 % aqueous ethanol solution. The obtained experimental data of the flavonoid composition indicate a significant content of flavonoids in the leaves of Ginkgo biloba, which determines a wide range of physiological and pharmacological activity of the plant. The studied plant source is a promising raw material for further development of new effective dosage forms.

Ginkgo biloba L. plant is a depot of valuable biologically active components, which is the basis for further studies on the identification of other biologically active substances and the subsequent assessment of their physiological and pharmacological activity with the aim of developing new phytodetic agents based on it.

Keywords: *Ginkgo biloba*, extract, biologically active substances, flavonoids, bilobalides, ginkgolides, terpenes, pharmacological activity.

References

1. Katunina E. A., Ginkgo biloba: the results of a half-century of application experience. Polymodality of Ginkgo biloba effects: experimental and clinical studies, *Neurology and rheumatology. Annex to the journal Consilium Medicum*, **2**, 53 (2013). (in Russ.)
2. Litvinets E. A., Vintoniv O. R., Ginkgo biloba: pharmacological and therapeutic properties, *Health of men*, **1 (40)**, 37 (2012). (in Russ.)
3. Vasil'ev V. G., Prokop'ev A. S., Kalabin G. A., Identification of terpene lactones and flavonoglycosides in Ginkgo biloba extract preparations and a novel method for semi-quantitative evaluation of flavonoglycosides by NMR spectroscopy 1H. *Chemistry of vegetable raw materials*, **3**, 85 (2016). (in Russ.)
4. Burchinskiy S. G., Ginkgo biloba Preparations: Along the Way of Discoveries in Clinical Neuropharmacology. *International Neurological Journal*, **4 (82)**, 83 (2016). (in Russ.)
5. Kuznetsova S. M., Kuznetsov V. V., Shul'zhenko D. V., Application of Ginkgo biloba extract in the system of rehabilitation of patients who have suffered a stroke. *International Neurological Journal*, **5 (83)**, 111(2016). (in Russ.)
6. Ponomarev V. V., Barabanova E. V., Effectiveness of Ginkgo biloba extract in treating mild and moderate cognitive reduction of vascular genesis from the position of evidence-based medicine. *Medical news*, **4 (259)**, 18 (2016). (in Russ.)
7. Cui Y., Wu H., Liu M. [et al.], Effect of Ginkgo biloba leaf extract on cerebral cortex amino acid levels in cerebral ischemia model rats. *J Tradit Chin Med.*, **38 (5)**, 676 (2018).
8. Eisevand F., Razavi B. M., Hosseinzadeh H., The effects of Ginkgo biloba on metabolic syndrome: A review. *Phytother Res.* 2020 Feb 25. doi: 10.1002/ptr.6646.
9. Hao F., Li A., Yu H. [et al.], Enhanced Neuroprotective Effects of Combination Therapy with Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells and Ginkgo biloba Extract (EGb761) in a Rat Model of Experimental Autoimmune Encephalomyelitis. *Neuroimmunomodulation*, **23 (1)**, 41 (2016).
10. Ji H., Zhou X., Wei W.[et al.], Ginkgo Biloba extract as an adjunctive treatment for ischemic stroke: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Medicine (Baltimore)*, **99 (2)**, (2020).
11. Kornel'zen D. A., Bondarenko A. I., Shmygareva A. A. Modification of the procedure for quantifying the sum of flavonoids in preparations based on Ginkgo biloba extract, *In the collection «Issues of science and education: theoretical and practical aspects».* Materials of the International (correspondence) scientific and practical conference. Edited by A.I. Vostretsov. Publishing House: Scientific and Publishing Center "World of Science" (IP Vostretsov Alexander Ilyich, Neftekamsk). (Czech Republic, Prague, 2019), p. 30. (in Russ.)

UDK 544.45/.454, 542.943-92

OXIDATIVE DEGRADATION OF NITROFURAN DERIVATIVES

Ustinova M. N., Volobuyeva V. V.

*Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod State National Research University”, Belgorod, Russia
E-mail: ustinova@bsu.edu.ru*

The inactivation of furacilin and furagin preparations by the Fenton reagent was studied in this work. The effect of different concentrations of the oxidative system on the degradation of drugs was compared, the optimal conditions of destructive processes were determined. The characteristics of oxidative degradation of two drugs were compared; a substantiation of differences on the basis of the chemical structure of the active substances was proposed.

The efficiency of Fenton system for destruction of nitrofuran class drugs has been confirmed. Chemical methods of destruction of organic pollutants are advanced and can be used for wastewater treatment of medical and pharmaceutical enterprises, as well as for local treatment facilities.

Keywords: inactivation, Fenton’s reagent, pharmaceutical pollutants.

INTRODUCTION

In the last decade, the problem of pharmaceutical pollution of the environment has increased significantly. The rapid development of the pharmaceutical industry has been the basis for increasing concentrations of various pharmaceuticals in natural objects [1–4]. Due to the high toxicometric index of many drugs, the process of their degradation is difficult, especially in significant concentrations. A particularly toxic group is represented by antibiotics and broad-spectrum antimicrobials such as furacilin and furagin [5–7]. These substrates are derivatives of nitrofuran, certainly less toxic than antibiotics, but in high concentrations provoke dyspeptic and neurotoxic disorders, and therefore certainly have a negative effect on the ecosystem and its inhabitants. The option of degradation of such drugs can be chemical destruction, with complete decomposition of organic pollutants. The search for effective methods of inactivation of organic pollutants of different structure is an urgent task of modern chemistry [8–10].

It is known that hydroxyl radicals produced during the interaction of hydrogen peroxide with some metal ions have a significant oxidative capacity. Such activators are metal ions of secondary groups of the periodic system of chemical elements that have fewer valence electrons than the number of orbitals, such as iron ions with different valence. Of particular interest are iron divalent cations, as a variant of an efficient and reproducible system paired with hydrogen peroxide - the Fenton system [11].

The main stage of the mechanism of formation of hydroxyl radicals:



Earlier at the Department of General Chemistry (BSU) studies of the oxidation process of a number of drugs by different oxidation systems were performed [12–14]. The

aim of this study was to investigate the inactivation of nitrofuran group drugs by hydrogen peroxide in the presence of iron(II) ions.

MATERIALS AND METHODS

Oxidation of substrates with Fenton's reagent was carried out in aqueous solutions at a constant temperature of 23 °C in a volume of 50 ml.

Medical" hydrogen peroxide with a mass fraction of 37.3 % was used to prepare Fenton's reagent, the exact concentration of which was determined by permanganometry in acidic medium. The concentration of aqueous hydrogen peroxide solutions varied in the values of four concentrations 4.0, 8.0, 16.0, and 32.0 mmol/L.

Mohr's salt was used as a source of divalent iron ions in Fenton's reagent, and the concentration of iron ions was varied in two concentration values of 0.125 and 0.25 mmol/L.

The initial concentration of the active substance in all experiments was 0.25 mmol/L. Structural formulas of the active substances are shown in Fig. 1.

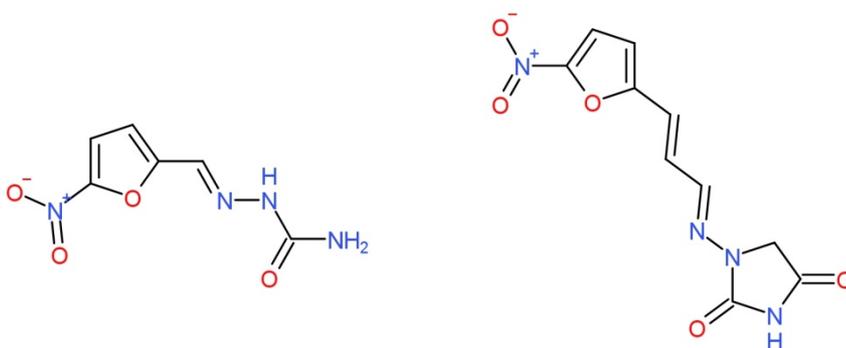


Fig.1. Structural formula of the active substance furacilin (a) and furagin (b).

The pH value was controlled in all cases, since the destructive processes using Fenton's reagent are most optimal at pH values of 2.7–3.5 [11]. In this range and conducted the experiment.

RESULTS AND DISCUSSION

Changes in substrate concentration were observed spectrophotometrically by changes in absorbance intensity. The absorption maximum for each substrate was determined (Fig. 2). Spectra were recorded on a Solar spectrofluorimeter (CM2203). The concentrations of the substrates were determined by calibration graphs in their linear range.

For hydrogen peroxide, the optical density contribution is high up to 285 nm, so the drugs were chosen with absorption maxima above this value. The absorption of Mohr's salt was neglected. Fig. 3 shows absorption spectra of working concentrations of hydrogen peroxide (a) and iron (II) ions. As can be noted from the spectra, these working solutions do not give a significant contribution of optical density at the selected absorption maxima of substrate bands.

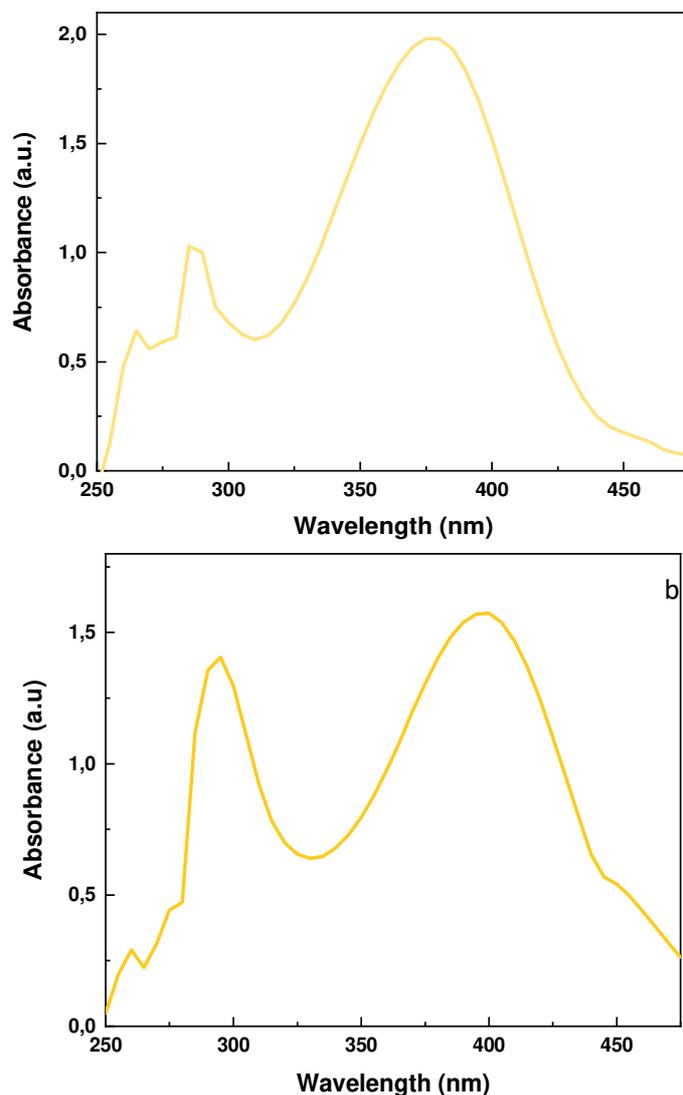


Fig. 2. Absorption spectrum of 0.25 mmol/L aqueous solution of the active substance furacilin (a) λ_{\max} =375 nm, furagin (b) λ_{\max} =395 nm.

The process of inactivation by the oxidative system of the active substance furacilin was investigated using a wide range of combinations of oxidizing reagents for 60 minutes (Table 1). Full spectra were studied throughout the process to exclude the appearance of new components in the system, that are other forms of organic substances or "fragments" of substrates.

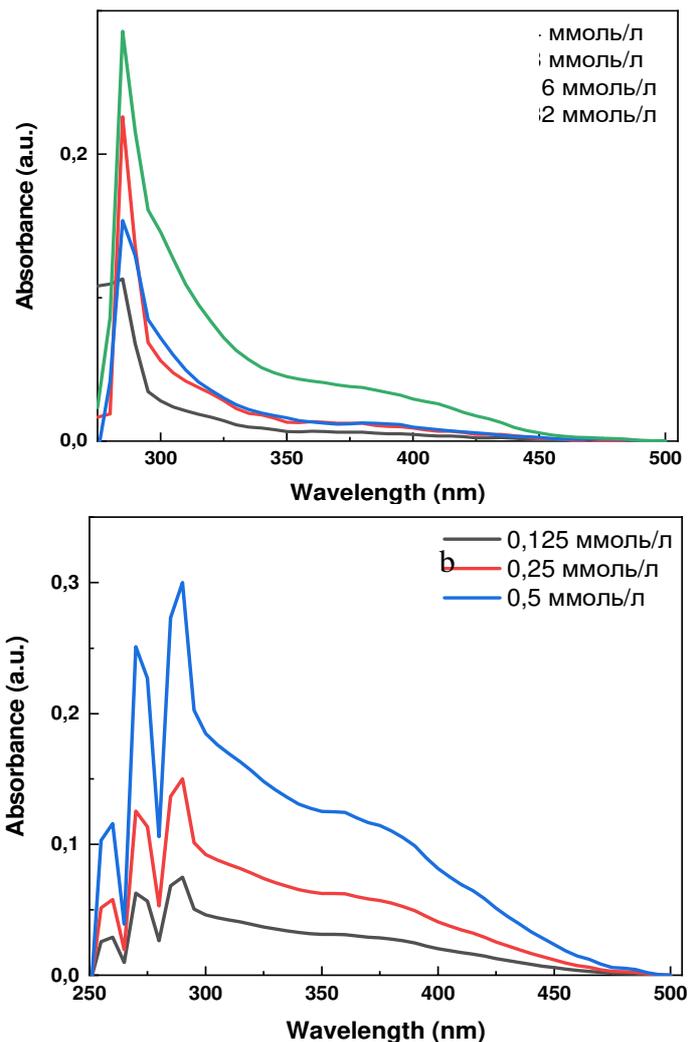


Fig.3. Absorption spectrum of working solutions of hydrogen peroxide (a) and Mora's salt (b).

As can be seen from the data, the greatest degree of degradation is achieved at the optimal reagent ratios $[\text{Furacilin}]:[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]=1:1:128$ and is 89%, the initial rate of the process at this maximum 10.7 mmol/L \times min.

Further oxidative degradation of the active substance of furagin was carried out similarly to furacilin. According to the data obtained (Table 2), the maximum degree of destruction reaches 94% during the first 10 minutes and then changes insignificantly, the maximum initial rate of destruction corresponds to 4.7 mmol/L min. Optimal is the ratio of the reagents $[\text{Furagin}]:[\text{Fe}^{2+}]:[\text{H}_2\text{O}_2]=1:1:64$.

Table 1

Kinetic characteristics of the furacilin degradation process after one hour of oxidation

Reagent ratio	v_0 , mmol/L×min	F, %
[H ₂ O ₂]=4 mmol/L [Fe ²⁺]=0.125 mmol/L	1,6	42
[H ₂ O ₂]=8 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25 mmol/L	3,9	61
[H ₂ O ₂]=8 mmol/L [Fe ²⁺]=0.125 mmol/L	2,7	45
[H ₂ O ₂]=16 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25 mmol/L	1,1	75
[H ₂ O ₂]=16 mmol/L [Fe ²⁺]=0.125mmol/L	6,5	54
[H ₂ O ₂]=32 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25mmol/L	10,7	89

Table 2

Kinetic characteristics of the degradation process of furaginafter one hour of oxidation

Reagent ratio	v_0 , mmol/L×min	F, %
[H ₂ O ₂]=4 mmol/L [Fe ²⁺]=0.125 mmol/L	0,13	79
[H ₂ O ₂]=4 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25 mmol/L	1,2	84
[H ₂ O ₂]=8 mmol/L [Fe ²⁺]=0.125 mmol/L	1,31	81
[H ₂ O ₂]=8 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25 mmol/L	2,6	88
[H ₂ O ₂]=16 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25 mmol/L	4,7	94
[H ₂ O ₂]=32 mmol/L [Fe ²⁺]=0.25mmol/L	0,18	60

A comparison of the degradation processes revealed that the active substance of furagin undergoes oxidative degradation by the Fenton reagent much easier compared to the active substance of furacilin. In the structure of the active substance of furacilin, the nitrofuran group is connected through a methyl bridge to the carboxamide hydrazine, which makes the heterocycle most resistant to destructive transformations. In the case of furagin, the nitrofuran group is connected to 2,4-imidazolidinedione, the second

heterocycle, via a propenylidene bridge. Being a large molecule with two heterocycles, furagin is less stable and breaks down quickly when exposed to oxidizing agents. To compare the data with the theoretically possible oxidation abilities of the structures, COD values were calculated (Table 3).

Table 3

Calculated chemical oxygen demand of the studied substances

Name of the drug	Molecular formula of the active substance	M, g/mol	COD, mg/mg
Furacilin	$C_6H_6N_4O_4$	198	0,8
Furagin	$C_{10}H_8N_4O_5$	264	1.15

In spite of the fact that the value of COD of furagin is higher than that of furacilin, it was experimentally shown that furagin is oxidized more easily at the expense of a smaller amount of oxidizer. This fact indicates that the number of atoms in the composition of the molecule does not determine the "oxidizability" of drugs. These processes are determined by the complexity of the molecule structure, the stability of bonds in the structure, the mutual influence of substituents.

CONCLUSIONS

1. Thus, it was found that the active substances of furacilin and furagin can be degraded in aqueous solutions at room temperature and atmospheric pressure by hydrogen peroxide in the presence of iron(II) ions. This method can be recommended for the inactivation of pharmaceutical pollutants of the nitrofur series.
2. Optimal conditions for substrate oxidation were determined: pH, concentration of substrate/hydrogen peroxide/iron(II) ions.
3. It was shown that the active substance of furagin undergoes oxidative degradation by Fenton's reagent much easier in comparison with the active substance of furacilin. The regularity is related to the structure of the active substance, which is confirmed by calculations of the COD value, which do not agree with the data of real oxidative processes, indicating that the oxidant consumption depends on the structure and mutual influence of the substituents of the organic molecule, rather than being limited to the number of atoms in the composition.

References

1. Kozlova M. A. Lekarstvennoe zagryaznenie prirodnyh i stochnyh vod: metody ochistki i rezul'taty issledovaniya, *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, **16** (1), 77, (2020) (in Russ.).
2. Get'man M. A., Narkevich I. A. Prognozirovaniye i kontrol' postupleniya ostatkov LS v okruzhayushchuyu sredyu, *Remedium. Zhurnal o rossijskom rynke lekarstv i medicinskoj tekhniki*, **5**, 36, (2013) (in Russ.).
3. Barenbojm G. M., CHiganova M. A. Zagryaznenie vodnyh ob'ektov Podmoskov'ya lekarstvami, ih metabolitami i drugimi ksenobiotikami s farmakologicheskoy aktivnost'yu: problemy i puti ih resheniya, *Vestnik RAEN*, **14** (2), 97, (2014) (in Russ.).
4. Samojlenko N. N., Ermakovich I. A. Zagryaznenie municipal'nyh vod farmacevticheskimi preparatami i ih proizvodnymi, *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*, **4** (10), 8, (2013) (in Russ.).

5. Zhussupova G., Skvirskaya G., Reshetnikov V., Dragojevic-Simic V., Rancic N., Utepova D., Jakovljevic M. The evaluation of antibiotic consumption at the inpatient level in Kazakhstan from 2011 to 2018, *Antibiotics*, **9** (2), 57 (2020).
6. Stuart K. A., Welsh K., Walker M. C., Edrada-Ebel R. Metabolomic tools used in marine natural product drug discovery, *Expert Opinion on Drug Discovery*, **15** (4), 499 (2020).
7. Grekhneva E. V., Kudryavceva T. N., Klimova L. G., Efanov S. A. Patent N. 2020111852 (2020) (*in Russ.*).
8. Liou M. J., Lu M. C., Chen J. N. Oxidation of explosives by Fenton and photo-Fenton processes, *Water Research*, **37** (3), 3172 (2003).
9. Gutierrez-Mata A. G., Velazquez-Martínez S., Álvarez-Gallegos A., Hernández-Pérez J. A., Silva-Martínez S., Ahmadi M., Ghanbari F. Recent overview of solar photocatalysis and photo-Fenton processes for waster treatment, *International Journal of Photoenergy*, **2017**, 8528063 (2017).
10. Lebedeva O. E., Solovyeva A. A., Ustinova M. N., Buchelnikov A. S. UV photolysis of several conventional pharmaceuticals: degradability and products, *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*, **29** (1), 52 (2021).
11. ZHelovickaya A. V., Dresvyannikov A. F., CHudakova O. G. Primenenie Perspektivnyh Okislitel'nyh Processov Dlya Ochistki Stochnyh Vod, Soderzhashchih Farmaceuticheskie Preparaty (Obzor), *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, **18** (20), 73, (2015) (*in Russ.*).
12. Ustinova M. N., Lebedeva O. E., Kurdupova V. I. Photodestructive Transformations of Benzoic Acid and Its Derivatives, *Proceedings of Universities Applied Chemistry and Biotechnology*, **7** (4), 16, (2017) (*in Russ.*).
13. Nemchenko (Ustinova) M. N., Lebedeva O. E. Okislitel'naya destrukciya lekarstvennyh veshchestv, *Voda: himiya i ekologiya*, **6**, 30, (2011) (*in Russ.*).
14. Ustinova M. N., Lebedeva O. E. Oxidative inactivation of drugs, *Advances in Environmental Biology*, **8** (13), 31 (2014).

Устинова М. Н. Окислительная деструкция производных нитрофурана / М. Н. Устинова, В. В. Волобуева // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2021. – Т. 7 (73), №3. – С. 323–329.

Увеличение концентраций фармацевтических загрязнителей в окружающей среде является серьезной экологической проблемой. Поиск методов их обезвреживания - важная задача современной химии.

В работе проведено исследование инактивации действующих веществ фурацилина и фурагина (производных нитрофурана) пероксидом водорода в присутствии ионов железа (II). Рассчитаны кинетические характеристики окислительной деструкции обоих препаратов. Проведено сравнение воздействия различных концентраций окислительных агентов на деструкцию препаратов. Определены оптимальные условия деструктивных процессов: для фурацилина $[S]:[Fe^{2+}]:[H_2O_2]=1:1:128$, степень деструкции составляет 89 %, начальная скорость процесса – 10,7 мкмоль/лхмин. Для фурагина оптимально соотношение $[S]:[Fe^{2+}]:[H_2O_2]=1:1:64$, степень деструкции при этом достигает 94 %, максимальная начальная скорость деструкции соответствует 4,7 ммоль/л мин. Предложено обоснование различий на основе химического строения действующих веществ изучаемых субстратов, рассчитаны ХПК.

Установлено, что действующие вещества фурацилина и фурагина могут быть деструктивированы в водных растворах при комнатной температуре и атмосферном давлении реактивом Фентона. Данный метод можно рекомендовать для инактивации фармацевтических поллютантов нитрофуранового класса.

Ключевые слова: инактивация, реактив Фентона, фармацевтические загрязнители.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Аблякимова
Васфие Ленуровна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Ажикова
Альфия Кадыровна** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и ботаники, доцент
- Александрова
Асель Биляловна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии, e-mail: adabl@mail.ru
- Аль-Хачами
Фирас Рахи Хандхал** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», медико-биологический факультет, аспирант кафедры генетики, цитологии и биоинженерии, e-mail: firasrahy@gmail.com
- Андреева
Людмила
Александровна** Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт молекулярной генетики Российской академии наук, руководитель сектора, e-mail: landr@img.ras.ru
- Асанова
Аджире Рустемовна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Асанова
Эльвина Рефатовна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Баевский
Михаил Юрьевич** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
- Байгужин
Павел Азифович** Научно-исследовательского центра спортивной науки ИСТиС ЮУрГУ (НИУ), доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
- Байер
Елена Александровна** ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», профессор, доктор педагогических наук, заведующая кафедрой социальной педагогики, ГКУСО РО Азовского центра помощи детям, директор, e-mail: elenabaier@list.ru

Башкина Ольга Александровна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, доктор медицинских наук, профессор, ректор, заведующая кафедрой факультетской педиатрии, e-mail: bashkina1@mail.ru
Бирюкова Елена Александровна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Бичурин Лариса Александровна	ГБУЗ «Кузнецкая межрайонная детская больница», магистр биологии, микробиолог
Волобуева Валерия Витальевна	ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», магистрант второго года обучения направления подготовки 04.04.01 Химия
Гашек Валерия Александровна	Международный аэропорт Челябинск, кандидат биологических наук, инженер по авиационной орнитологии, e-mail: gashek_va@mail.ru
Гомжина Юлия Александровна	ФГАОУВО «Южно-Уральский государственный университет (Научный исследовательский университет)», ассистент кафедры физического воспитания и здоровья
Горбанева Маргарита Вячеславовна	ГКУСО РО Азовский центр помощи детям, врач-педиатр, e-mail: gor-margo@yandex.ru
Григорян Нарине Аразиковна	ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» МЗ РФ, доцент, кандидат биологических наук, e-mail: Narine_g69@mail.ru
Гришина Татьяна Владимировна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант 1 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Джелдубаева Эльвиза Рашидовна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики

- Евсеева
Анна Александровна** ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», доцент кафедры биологии и экологии, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: annahabarova@yandex.ru
- Ерашкин
Владимир Олегович** Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, студент института зоотехнии и биологии, e-mail: vova.yeashkin@mail.ru
- Закусилов
Вадим Павлович** Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», кандидат географических наук, доцент
- Иброхимов
Исмоилхон
Анвархонович** ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», аспирант кафедры хирургии и терапии
- Иванов
Сергей Михайлович** Научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры Великолукской государственной академии физической культуры и спорта, младший научный сотрудник, e-mail: ivanov@vlgafc.ru
- Иволга
Роман Александрович** Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, инженер кафедры зоологии, e-mail: romanivolga@gmail.com
- Игнатова
Ирина Викторовна** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», преподаватель кафедры генетики, цитологии и биоинженерии, медико-биологический факультет, e-mail: irina777.84@list.ru
- Калаев
Владислав Николаевич** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, цитологии и биоинженерии, e-mail: dr_huixs@mail.ru
- Карпова
Светлана Сергеевна** ФГБОУ ВО «Воронежский государственный институт физической культуры», кандидат биологических наук, преподаватель e-mail: karpovass@mail.ru
- Катальникова
Маргарита
Александровна** ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», научный сотрудник центра аграрных компетенций, e-mail: chita-drita@bk.ru
- Кидов
Артем Александрович** Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, кандидат биологических наук, доцент, и. о. зав. кафедрой зоологии, e-mail: kidov_a@mail.ru
- Клыченков
Сергей Викторович** ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Педагогический институт им. В. Г. Белинского, аспирант кафедры «Общая биология и биохимия», старший преподаватель

- Колмакова
Татьяна Сергеевна** ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» МЗ РФ, заведующая кафедрой медицинской биологии и генетики, доцент, доктор биологических наук, e-mail: tat_kolmakova@mail.ru
- Кондратова
Татьяна Эдуардовна** Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, инженер кафедры зоологии, e-mail: t.condratowa2016@yandex.ru
- Коренюк
Иван Иванович** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Красуцкий
Борис Викторович** Челябинский государственный университет, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры общей экологии, e-mail: boris_k.63@mail.ru
- Кручинина
Анастасия Дмитриевна** ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Педагогический институт им. В. Г. Белинского, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Общая биология и биохимия»
- Кузнецов
Илья Евгеньевич** «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», доктор технических наук, доцент, начальник кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
- Кулагина
Валентина Ивановна** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией экологии почв, e-mail: viksoil@mail.ru
- Лещуков
Константин
Александрович** ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Продукты питания животного происхождения», e-mail: kostl77@mail.ru
- Лысенков
Сергей Петрович** Майкопский государственный технологический университет, доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии и клинической патологии медицинского института, e-mail: sergeyprofff@yandex.ru
- Мамаев
Андрей Валентинович** ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Продукты питания животного происхождения», e-mail: shatone@mail.ru

- Масалов Владимир Николаевич** ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», доктор биологических наук, доцент, ректор, e-mail: rector@orelsau.ru
- Миронюк Ирина Сергеевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», преподаватель кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Моисеев Сергей Александрович** Научно-исследовательский институт проблем спорта и оздоровительной физической культуры Великолукской государственной академии физической культуры и спорта, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: sergey_moiseev@vlgafc.ru
- Мокшина Надежда Яковлевна** Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», доктор химических наук, доцент, профессор
- Мясоедов Николай Федорович** Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт молекулярной генетики Российской академии наук, доктор химических наук, Академик РАН, профессор, руководитель отдела, e-mail: nfm@img.ras.ru
- Павленко Владимир Борисович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», заведующий кафедрой общей психологии и психофизиологии, e-mail: vpav55@gmail.com
- Павленко Дмитрий Владимирович** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: pavlenkoprog@gmail.com
- Пахомова Оксана Анатольевна** Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, кандидат химических наук, доцент
- Поддубов Александр Игоревич** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», заведующий лабораторией кафедры общей химии
- Придатко Алена Игоревна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант 2 года обучения кафедры физиологии человека и животных и биофизики

Раваева Марина Юрьевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Рауфов Сарвар Саидович	Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, аспирант кафедры специальной психологии, e-mail: raufov.sarwar2016@yandex.ru
Романов Юрий Николаевич	ФГАОУВО «Южно-Уральский государственный университет (Научный исследовательский университет)», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры спортивного совершенствования, e-mail: romanovyn@susu.ru
Рязанов Станислав Сергеевич	Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: RStanislav.soil@yandex.ru
Самотруева Марина Александровна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, профессор
Саргсян Эдгар Гаспарович	ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», аспирант кафедры хирургии и терапии
Сеин Олег Борисович	ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры хирургии и терапии
Сергалиева Мариям Утежановна	ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии
Славский Василий Александрович	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», кандидат с/х наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, e-mail: slavskiyva@yandex.ru
Соколова Алёна Владимировна	Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, аспирант
Соловьев Виктор Николаевич	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», студент 2М курса

Сытник Денис Михайлович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Радиоэкология и экологическая безопасность», e-mail: sytnikov@list.ru
Туманянц Каринэ Николаевна	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com
Тхакушинов Ибрагим Аскарбиевич	Майкопский государственный технологический университет, преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней медицинского института, e-mail: ubrawka@mail.ru
Устинова Мария Николаевна	ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии института фармации, химии и биологии (структурное подразделение)
Файзиев Далер Шавкатович	ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», магистрант 2 курса направления подготовки «Экология и природопользование», e-mail: faizievds@studklg.ru
Харченко Николай Николаевич	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, защиты леса и лесного охотоведения, лесной факультет, e-mail: forest.vrn@gmail.com
Холоша Александр Сергеевич	ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова», аспирант кафедры хирургии и терапии
Хусаинов Денис Рашидович	Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Цикалов Виктор Валентинович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры валеологии и безопасности жизнедеятельности человека

- Цикалова
Виктория Николаевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии
- Чайка
Андрей Владимирович** ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва», преподаватель, e-mail: andrew.chajka@yandex.ru
- Черетаев
Игорь Владимирович** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Чмелева
Светлана Ивановна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
- Чуян
Елена Николаевна** Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Шагидуллин
Рифгат Роальдович** Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru
- Шейко
Елена Анатольевна** ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии
- Ясенявская
Анна Леонидовна** ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, кандидат медицинских наук, доцент, руководитель научно-исследовательского центра, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологии и биотехнологии, e-mail: yasen_9@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Гашек В. А., Красуцкий Б. В.**
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ФАУНЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЮ РЕДКИХ ВИДОВ ПТИЦ
ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ 3
- Горбанева М. В., Колмакова Т. С., Байер Е. А., Григорян Н. А.**
КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И
ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ АДАПТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА
ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УЧРЕЖДЕНИЯХ СОЦИАЛЬНОГО
ТИПА 30
- Евсеева А. А., Файзиев Д. Ш.**
БИОМОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАЛУГИ ПО ОТДЕЛЬНЫМ
ПРИЗНАКАМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ (НА ПРИМЕРЕ ACER
PLATANOIDES L.) 43
- Калаев В. Н., Игнатова И. В., Харченко Н. Н., Карпова С. С.**
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ ОТБОРА МАТЕРИНСКИХ ДЕРЕВЬЕВ
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ БЕЛОЙ, ПРОДУЦИРУЮЩИХ СЕМЕННОЕ
ПОТОМСТВО С ОПРЕДЕЛЕННЫМ УРОВНЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ
СТАБИЛЬНОСТИ 55
- Калаев В. Н., Карпова С. С., Аль-Хачами Ф. Р. Х., Игнатова И. В., Славский В. А.**
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕМЕННОГО
ПОТОМСТВА ОРЕХА ГРЕЦКОГО (*JUGLANS REGIA* L.) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ 68
- Кидов А. А., Иволга Р. А., Ерашкин В. О., Кондратова Т. Э.**
МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРСИДСКОЙ КРУГЛОГОЛОВКИ
(*PHRYNOSERPHALUS PERSICUS*, REPTILIA, AGAMIDAE) В ЮГО-ЗАПАДНОМ
ПРИКАСПИИ 87
- Клыченков С. В., Кручинина А. Д., Бичурина Л. А.**
АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЧЕЛИНОГО МЁДА И ЕГО ПЕПТИДНЫХ
ФРАКЦИЙ 101
- Кулагина В. И., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Александрова А. Б.**
ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ
ОСТРОВНЫХ ЭКОСИСТЕМ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 112
- Лещуков К. А., Масалов В. Н., Сеин О. Б., Мамаев А. В., Катальникова М. А.**
ДИНАМИКА РОСТА И ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГОМЕОСТАЗА У
МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН
БИОКОМПЛЕКСА СВОБОДНЫХ L-АМИНОКИСЛОТ 127
- Мамаев А. В., Масалов В. Н., Сеин О. Б., Лещуков К. А.**
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА СТАДА
СВИНЕЙ И КОРОВ АКТИВАТОРАМИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ
ЖИВОТНЫХ 135

Моисеев С. А., Иванов С. М. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА МЫШЕЧНЫХ СИНЕРГИЙ ТОЧНОСТНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА	148
Павленко Д. В., Чуюн Е. Н., Павленко В. Б. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОСПРИЯТИЯ ЛИЦЕВОЙ ЭКСПРЕССИИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ РАССТРОЙСТВАХ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА	160
Рауфов С. С. ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТАДЖИКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЗНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ	180
Романов Ю. Н., Гомжина Ю. А., Байгузин П. А. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЖИ У СТУДЕНТОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ	190
Сеин О. Б., Холоша А. С., Лещуков К. А., Саргсян Э. Г., Иброхимов И. А. ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕТА-ЭНДОРФИНА В КРОВИ У ОВЕЦ ПРИ РАЗЛИЧНЫ РЕЖИМАХ ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ	198
Сытников Д. М., Шейко Е. А. РЕАКЦИЯ СОЕВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА НА ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ	207
Тхакушинов И. А., Лысенков С. П. ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АУТОФАГИИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ КАЛОРИЙНОСТИ ПИТАНИЯ У МУЖЧИН	220
Файзиев Д. Ш., Евсеева А. А. КЛЕН ОСТРОЛИСТНЫЙ (ACER PLATANOIDES L.) КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ БИОМОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	230
Хусаинов Д. Р., Чуюн Е. Н., Коренюк И. И., Аблякимова В. Л. ЧАСТОТНО-АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНЫХ БИОПОТЕНЦИАЛОВ САЗ ЗОНЫ ГИППОКАМПА ПРИ ДЕЙСТВИИ САЛИЦИЛАТА КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ	239
Чайка А. В. ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ДЕПРЕССИВНОПОДОБНОГО ПОВЕДЕНИЯ У КРЫС	250
Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н. ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ <i>TRITICUM AESTIVUM</i> L. В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОГО ЗАСОЛЕНИЯ	262
Чуюн Е. Н., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А., Придатко А. И., Гришина Т. В., Раваева М. Ю., Черетаев И. В., Асанова Э. Р., Асанова А. Р. ПОКАЗАТЕЛИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С МЕТАЛЛАМИ	271

Ясеняевская А. Л., Андреева Л. А., Мясоедов Н. Ф., Башкина О. А., Самотруева М. А.	
BDNF-ОПОСРЕДОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ АНТИСТРЕССОРНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛАНКОРТИНОВ	289

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Баевский М. Ю., Поддубов А. И., Раваева М. Ю., Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Соловьев В. Н.	
СИНТЕЗ И РАСЧЕТНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2- α -ГИДРОКСИАЛКИЛБЕНЗИМИДАЗОЛА	298
Мокшина Н. Я., Пахомова О. А., Соколова А. В., Закусилов В. П., Кузнецов И. Е.	
СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N-ВИНИЛАМИДА	306
Самотруева М. А., Ажикова А. К., Сергалиева М. У.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУММЫ ФЛАВОНОИДНЫХ ГЛИКОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ ГИНКГО ДВУЛОПАСТНОГО (<i>GINKGO BILOBA</i> L.)	316
Ustinova M. N., Volobuyeva V. V.	
OXIDATIVE DEGRADATION OF NITROFURAN DERIVATIVES	323
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	330
СОДЕРЖАНИЕ	338