

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ЗИН РАН)

ОТЧЁТНАЯ  
НАУЧНАЯ СЕССИЯ  
ПО ИТОГАМ РАБОТ 2019 г.

*ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ*

*26–28 октября 2020 г.*

Санкт-Петербург  
2020



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ОТДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СИСТЕМАТИКИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ 2019 Г.

**Н.И. Абрамсон**

Исследования отделения молекулярной систематики лаборатории териологии ЗИН РАН в 2019 г. были посвящены следующим темам:

- анализ филогенетических связей на надвидовом уровне и построение классификации,
- анализ внутривидовой структуры и истории формирования современного ареала вида (филогеография),
- генетические исследования музейных коллекций с особым вниманием к типовому материалу, ДНК-штрихкодирование типового материала,
- исследование молекулярных маркеров адаптивной изменчивости, отбора на молекулярном уровне.

В своем докладе я остановлюсь на наиболее значимых исследованиях отделения, проводившихся в 2019 г. в рамках госзадания: АААА-А19-119020790106-0), грантов РФФИ 18-04-00730 и РФФ 19-74-20110. Часть результатов была опубликована в статьях в начале 2020 г., часть сдана в печать.

Наиболее значимые результаты были получены в рамках выполнения гранта РФФ. Эти исследования связаны с освоением новых методов и перехода от анализа филогении и эволюционной истории на основе отдельных локусов (молекулярных маркеров) к анализу больших фрагментов генома (геномный уровень). Основная цель данного исследования связана с попыткой разобраться в эволюционных механизмах быстрых радиаций, распутать сложные «кустовые» филогении и в поиске следов отбора на геномном уровне. Модельная группа, о которой пойдет речь в сообщении, – подсемейство полевочьих (*Arvicolinae*), очень хороший объект для исследования перечисленных вопросов по целому ряду причин.

Подсемейство полевочьих – самая молодая, быстро эволюционирующая и многочисленная (около 150 видов) группа мышеобразных грызунов, распространенная во всех ландшафтах умеренной и арктической зон северного полушария. Возникновение этой группы связано с быстрой радиацией, т.е. невероятно быстрым образованием большого количества новых видов в единицу времени. Более того, в течение ее эволюционного развития наблюдается, по крайней мере еще

два–три таких «взрывных» этапа быстрой дивергенции. Одну из самых трудных задач для филогенетических реконструкций представляют собой именно быстрые радиации. Ранее нами было показано, что эволюционная история группы включает три последовательных этапа быстрой радиации (кладогенеза), и до настоящего времени неясны родственные связи основных групп в пределах как первой быстрой радиации, так и стремительной последней радиации (более 60 видов). Будучи прекрасным модельным объектом для зоологов и систематиков (с учетом нескольких этапов радиации и разнообразия занимаемых экологических ниш), подсемейство также привлекает и эволюционных биологов (по тем же причинам).

За 2019 г. мы получили данные полногеномного секвенирования для 33 видов. Для 14 родов митохондриальные геномы получены впервые. До наших исследований в Генбанке имелись полные митохондриальные геномы только для 22 видов из 12 родов. Это позволило сделать крупномасштабную реконструкцию филогении подсемейства (проанализированы 26 из 28 родов подсемейства), которая не была разрешена полностью до текущего момента. Длина митохондриального генома и большое количество информативных сайтов позволили получить поддержки в тех узлах, которые раньше не имели статистически достоверной поддержки. Также впервые был получен почти полный митохондриальный геном субальпийской кашмирской полевки (*Hyperacrius fertilis*) от экземпляра 1903 г. из коллекции ЗИН РАН. Эта редкая и малоизученная полевка обитает на севере Индии (провинция Кашмир) и Пакистана. Результаты показали, что кашмирская полевка не относится к трибе лесных и скальных полевок (*Myodini*), как считалось раньше, а вместе со слепушонками, пеструшками и большой группой *Arvicolini* относится к последней радиации и является базальным таксоном в трибе *Arvicolini*. Полученные молекулярные данные подтолкнули также к пересмотру и основных морфологических критериев, на которых были сделаны выводы о систематическом положении этого рода ранее. На основе последовательностей митохондриальных геномов проведен также анализ влияния отбора на разные белок-кодирующие гены у представителей первой радиации полевоцых в пределах подсемейства *Arvicolinae* (полевоцых) и сестринской группы настоящих хомяков (*Cricetinae*). Анализ выявил 98 кодонов у полёвоцых относительно хомяков, находящихся под отбором. При этом сайты под отбором распределены по белок-кодирующим фрагментам митохондриальных

геномов неравномерно: наибольшая плотность замен обнаружена в генах, кодирующих субъединицы NADH-дегидрогеназы, в противоположность генам, кодирующим различные субъединицы цитохром-с-оксидазы и цитохрома b (и использующиеся как основные филогенетические маркеры).

Помимо изучения отбора при становлении подсемейства в целом, проведен анализ следов отбора на митохондриальный геном у полеvoчьих в связи с обитанием в особых экологических нишах: подземной и полуводной. Поиск важных структурных замен в белок- кодирующих генах, отличающих две экологические группы (подземные/надземные), показал наличие некоторого количества замен в генах *cytb*, *nad1*, *nad4* и *nad5* у рассмотренных подземных видов, которые отсутствовали у всех проанализированных наземных.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРИИ ТЕРИОЛОГИИ В 2019 Г.**

**А.О. Аверьянов**

Работа сотрудников лаборатории териологии ЗИН РАН в 2019 г. проходила по трем основным направлениям: систематика современных и вымерших млекопитающих, изучение мускулатуры млекопитающих и археологический анализ комплексов млекопитающих из стоянок древнего человека. Всего сотрудниками лаборатории млекопитающих в 2019 г. было опубликовано 68 статей, включая 31 статью в журналах первого и второго квартиля WoS (без учета статей сотрудников отделения молекулярной систематики).

В своем докладе я остановлюсь на наиболее значимых исследованиях лаборатории в 2019 г., часть из которых была опубликована в начале 2020 г. Изучена внутренняя структура зубов землероек (Soricidae) по данным компьютерной томографии высокого разрешения, на основании которого предложены новые морфологические признаки для филогенетического анализа (Voyma et al., 2019). Опубликована ревизия трибы *Beremendiini* Северной Азии – ископаемой группе землероек, широко распространенной в Евразии в плиоцене и плейстоцене (Zazhigin, Voyma, 2019). Для выявления морфологических особенностей разных групп беремендин был проведен анализ формы нижней челюсти методами геометрической морфометрии. Для двух видов полевок порода *Microtus* (Cricetidae) из Ирана (*M. kermanensis* и *M. mystacinus*)

изучены последовательности цитохрома *b* и морфологические данные (Golenishchev et al., 2019). Описан материал по дальневосточным полевкам *Alexandromys* (семейство *Cricetidae*) из позднеплейстоценовых и голоценовых отложений пещеры Медвежий Клык (Войта и др., 2019).

С помощью многомерного статистического анализа изучена изменчивость во времени зубов кударского пещерного медведя (*Ursus kudarensis*) из пещер Кударо 1 и Кударо 3 на Кавказе (Барышников, Пузаченко, 2019). Установлено существование двух хроноподвидов в среднем и позднем плейстоцене. Впервые исследована филогеография колонка *Mustela sibirica* в пределах всего видового ареала (Ichikawa et al., 2000). Распространение двух основных митохондриальных групп *M. sibirica* в значительной степени совпадает с результатами предыдущего морфологического анализа (Abramov et al., 2018). Проведен филогенетический анализ вымершего отряда плацентарных неясного систематического положения *Arctostylopida* из раннего палеогена Азии и Северной Америки (Averianov, 2019). Описан новый род арктостилопид *Enantiostylops* из раннего эоцена Китая. Описаны три новых таксона юрских млекопитающих отряда *Euharamiyida* из Березовского карьера в Красноярском крае, включая новый род *Sharypovoia* (Averianov et al., 2019). Описаны два новых таксона древнейших мультитуберкулят из средней юры Западной Сибири (Averianov et al., 2020). Эти таксоны заполняют морфологический разрыв между более поздними мультитуберкулятами и харамиидами (концепция *Allotheria*). Высказано предположение о происхождении мультитуберкулят в Сибири.

Изучена подкожная мускулатура реликтового грызуна *Laonastes* из Юго-Восточной Азии и двух видов семейства *Stenodactylidae* (Zherebtsova, Platonov, 2020). Предложен новый сценарий эволюционных преобразований подкожной мускулатуры у грызунов группы *Stenohystrica*. Изучена фауна крупных млекопитающих из раннеплейстоценового местонахождения Мухкай 2 на Северном Кавказе (Саблин, 2020). Местонахождение уникально наличием культурного слоя с артефактами возрастом примерно 1.8 млн лет. Исследованы костные остатки шерстистого мамонта со стоянки Юдиново (Саблин, 2019). Тафономический и археозоологический анализы показали, что на стоянке Юдиново находятся остатки мамонтов, убитых на охоте. Они получены при разделке туш животных и свидетельствуют в пользу гипотезы существования охоты на мамонта в верхнем палеолите.

Исследования проводили по госзаданию «Филогения, морфология и систематика плацентарных млекопитающих» (номер темы: АААА-А19-119032590102-7).

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ СОЛЁНЫХ ОЗЕР И НЕПОЛНОСОЛЕННЫХ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ В ЗОНЕ КРИТИЧЕСКОЙ СОЛЁНОСТИ**

**Н.В. Аладин, В.И. Гонтарь, Л.В. Жакова,  
И.С. Плотников, А.О. Смуров**

16 ноября 1989 г. было создано наше структурное подразделение. Таким образом, в прошлом году нам исполнилось ровно 30 лет. В связи с этим коллеги из разных научных организаций обратились к нам с просьбой прочитать цикл лекций, которые суммировали бы основные итоги нашей научной работы за эти годы. Сотрудники нашего научного подразделения подготовили такой цикл лекций.

Лекция «Нерешенные проблемы Аральского моря – возможно, самая страшная экологическая катастрофа 20–21 веков» была прочитана 6 раз: на биостанции при Хельсинском университете в пос. Ламми (Финляндия), в Датском обществе естествознания (Копенгаген, Дания), в Гамбургском университете (Германия), в Университете Адама Мицкевича в Познани (Польша), в Казахском национальном университете им. аль-Фараби в Алматы и на отчётной сессии ЗИН РАН. Лекция «Фактор солёности в палеонтологии» была прочитана 2 раза: в Китабском государственном геологическом заповеднике (Узбекистан) и на палеонтологическом семинаре Санкт-Петербургского отделения Всероссийского палеонтологического общества на кафедре палеонтологии СПбГУ. Лекция «Систематизация биоразнообразия Каспийского моря в зоне критической солёности, изучение  $\delta$ -хорогалиникума в южной акватории Астраханского государственного природного биосферного заповедника» была прочитана в пос. Дамчик на конференции, посвященной столетию Астраханского государственного природного биосферного заповедника. Лекция «Экологическая катастрофа на Аральском море» была прочитана на Международной конференции «Озера и водохранилища: горячие точки и темы в лимнологии» в г. Микожин (Польша). Стендовый доклад «Дельта-хорогалиникум в Балтийском море» был представлен на научных днях Финского залива «Лицом к общему будущему» в Хельсинки.

Наши сотрудники подготовили 4 доклада: «Аральская катастрофа в прямом и переносном смысле слова», «Изменение видового состава свободноживущих водных беспозвоночных Аральского моря», «Влияние многолетних изменений солёности Аральского моря на биоразнообразие в сообществах водных макрофитов», «Соленостная толерантность гидробионтов в талассных и аталассных водоемах» для Второй Международной конференции по проблемам Аральского моря, посвященной 30-летию создания лаборатории солоноватоводных исследований Зоологического института РАН. Ее подготовка осуществлялась исключительно сотрудниками нашего подразделения. В конференции приняли участие ученые из 9 стран: России, Казахстана, Узбекистана, Великобритании, Франции, США, Японии, Польши и Испании. С материалами этой конференции можно ознакомиться на [https://www.zin.ru/conferences/Aral2019/index\\_ru.html](https://www.zin.ru/conferences/Aral2019/index_ru.html)

Доклад «Прошлое, настоящее и будущее Аральского моря и Приаралья» был сделан в Санкт-Петербурге на XVIII Международном семинаре «Геология, геоэкология, эволюционная география» в РГПУ им. А.И. Герцена.

В юбилейный для нашего структурного подразделения прошлый год проводили и полевые исследования. Во-первых, была осуществлена экспедиция вокруг Малого/Северного Аральского моря и в низовья реки Сырдарья. Вместе с нами участвовали коллеги из Казахстана и Японии. После состоялись полевые выезды с коллегами из Дании на Финский залив, на Северный Каспий и в дельту Волги.

Работа выполнена в рамках плановой темы «Систематизация биоразнообразия солёных озёр и неполносолёных внутренних морей в зоне критической солёности, изучение солоноватоводных видов с целью выяснения сходства и различия эволюции их фауны и их роли в солоноватоводных экосистемах» (АААА-А19-119020690091-0).

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ОРНИТОЛОГИИ И ГЕРПЕТОЛОГИИ – РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Н.Б. Ананьева**

В 2015–2020 гг. проводились молекулярно-генетический, морфологический и кариологический анализ популяций амфибий и рептилий, изучение особенностей процесса видообразования в этих двух классах наземных позвоночных животных, разработка основ зоокультуры



для редких и исчезающих видов, анализ формирования современных герпетофаун, исследования по морфологии, систематике и филогении современных и ископаемых черепах Евразии, описания новых форм и ревизии родов и комплексов видов земноводных, пресмыкающихся и птиц. Был продолжен мониторинг состояния и динамики биоразнообразия амфибий, рептилий и птиц различных регионов Евразии, работа по редлистингу МСОП, участие в подготовке очерков Красной книги РФ и региональных Красных книг, а также анализ ареалов амфибий и рептилий Евразии с помощью современных геоинформационных методов. В области орнитологии продолжены фаунистические, таксономические и экологические исследования биоразнообразия птиц Евразии. Важное направление работы лаборатории – подготовка и публикации в печати и на сайте института баз данных по типовым экземплярам амфибий, рептилий и птиц в коллекциях лаборатории. Под руководством и при участии сотрудников лаборатории издаются 2 международных журнала: «Russian Journal of Herpetology» (WoS) и «Современная герпетология».

В 2015–2019 гг. были опубликованы 15 монографий и 241 статья (из них 89 статей в международных базах научного цитирования). В 2015–2020 гг. описаны 24 новых для науки вида.

Сотрудники лаборатории орнитологии и герпетологии в этот период выполняли исследования по 18 проектам РФФИ (включая международные, издательские и организации международных конференций) под руководством Н.Б. Ананьевой (9 проектов), И.Г. Данилова (2 проекта), Н.Л. Орлова (4 проекта), Е.В. Сыромятниковой (2 проекта) и В.А. Паевского (1 проект).

Исследования сотрудников лаборатории в 2015–2020 гг. проводятся по двум основным госзаданиям: 1) «Изучение и сохранение структуры и динамики биоразнообразия амфибий, рептилий и птиц Евразии» АААА-А17-117030310017-8 и АААА-А19 – 119020590095. Рук. Н.Б. Ананьева и 2) «Фауна наземных животных тропических лесов Юго-Восточной Азии» (номер темы: АААА-А19-119082990107-3). Рук. А.В. Абрамов. В 2015–2019 гг. сотрудники работали также по программе фундаментальных исследований президиума РАН (комплексной программе регионального отделения РАН) «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», «Динамика и прогнозирование состояния важнейших видов ресурсов АААА-А18-118042390186-9.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АМФИПОД

Н.А. Березина

Изучение функционирования экосистем водоемов важно для разработки стратегии сохранения их биологического разнообразия и оптимизации использования их биологических ресурсов. Антропогенное воздействие на экосистему Балтийского моря привело к его загрязнению химическими веществами, в частности нефтепродуктами и тяжелыми металлами. В последние годы техногенные причины (строительство портов, дноуглубительные работы) заметно ухудшают ситуацию, увеличивая уровень накопления вредных веществ в донных отложениях и нанося вред здоровью обитателей этого биотопа.

Ракообразные отряда Amphipoda, широко распространенные в море и доминирующие в донных сообществах, чувствительны к загрязнению природной среды. Начиная с 1970-х годов, разные виды амфипод выбирают в качестве тест-объектов в пресных и морских экосистемах и используют для изучения токсических эффектов как в природе, так и в лаборатории. Например, состояние окружающей среды можно оценить по качеству потомства в популяции амфипод, т.е. как «хорошее» в отсутствие или в присутствии <5% эмбрионов с морфологическими абберациями (Gorokhova et al., 2018), но, если доля таких зародышей >20%, состояние биотопа может быть засвидетельствовано как нарушенное из-за возможного эффекта токсических веществ.

Целью настоящей работы стало изучение репродуктивных нарушений у амфипод *Gmelinoides fasciatus* и оценка возможности применения нового биомаркера – частоты эмбрионов с нарушениями развития при изучении эффектов загрязнения водной среды в Балтийском море. В экспериментальных условиях проба сильно загрязненного полиароматическими углеводородами, оловоорганическими соединениями и металлами осадка, отобранная в порту г. Копенгагена, была разбавлена осадком, отобранным на чистом участке Ботнического залива так, чтобы создать серию осадков с разведениями от 1:32 до 1:1024 (загрязненный: чистый). Через 28 сут содержания амфипод *G. fasciatus* в этих седиментах изучены нарушения в развитии их эмбрионов (среднее процентное отношение количества эмбрионов с отклонениями в строении или с повреждением мембран и др. к общему

числу эмбрионов в марзупиуме у одной самки) и измерены активности ферментов антиоксидантной защиты (АОЗ): глутатион-S-трансферазы, каталазы и показатели перекисного окисления липидов.

Различные типы морфологических aberrаций в эмбрионах были обнаружены в >60% особей в вариантах 1:64 и 1:128, что значительно выше по сравнению с контролем (<5%). В разведении 1:256 общее число aberrаций было 31%, но частота встречаемости эмбрионов с мальформациями >11%. В контроле и при разбавлении 1:1024 наблюдалось небольшое количество эмбрионов с мальформациями. Повышенные по сравнению с контролем активности глутатион-S-трансферазы и каталазы были установлены у амфипод, подвергшихся воздействию загрязненных осадков. Значимо более высокие уровни ферментов АОЗ и параметров перекисного окисления липидов регистрировали даже в варианте с наименее загрязненным осадком 1:1024. Полученные результаты демонстрируют высокую чувствительность и эффективность применения репродуктивных и молекулярных биомаркеров при оценке сублетальных эффектов химического загрязнения в водных экосистемах. На основе новых знаний о механизмах влияния токсических загрязнений на состояние эмбрионов предложен новый способ оценки состояния биоты континентальных водоемов (включая Балтийское море), испытывающих антропогенный стресс.

Работа выполнена по госзаданию Минобрнауки Российской Федерации (AAAA-A19-119020690091-0) и проекту ER90 HAZLESS по Программе приграничного сотрудничества Эстонии и России.

## **СЛЕДЫ ОТБОРА В МИТОХОНДРИАЛЬНОМ ГЕНОМЕ ПРИ АДАПТАЦИИ К ПОДЗЕМНОМУ ОБРАЗУ ЖИЗНИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ПОДСЕМЕЙСТВА ПОЛЕВОЧЬИХ (ARVICOLINAE, CRICETIDAE, RODENTIA)**

**О.В. Бондарева, Т.В. Петрова, С.Ю. Бодров,  
Е.А. Генельт-Яновский, Н.И. Абрамсон**

Считается, что митохондриальные гены подвержены сильному отрицательному отбору и крайне консервативны, так как кодируют белки окислительного фосфорилирования (OXPHOS). Тем не менее изменения в экологии организмов и, как следствие, изменения в метаболических потребностях могут приводить к изменениям в уровне давления

отбора и направленным изменениям, связанными с обитанием в конкретных экологических нишах.

Полевки и лемминги (подсемейство Arvicolinae) – одна из самых молодых и многочисленных групп мышевидных грызунов, доминирующих в различных ландшафтных зонах северного полушария. При исследовании полных митохондриальных геномов подземных грызунов из других семейств было показано, что адаптация к подземному образу жизни оставляет свой след и в эволюции митохондриальных генов (Tavares and Seuánez, 2018). Однако цитируемые работы рассматривали древние группы, формирование которых и адаптация к подземному образу жизни охватывают период не менее, чем в 30 млн лет. Среди видов подсемейства полевоочьих переход к подземному образу жизни возникал неоднократно и независимо в различных филогенетических линиях. Поскольку полевоочьи – это самая молодая и быстро эволюционирующая группа, возраст первых ископаемых остатков которой – 7 млн лет, целью настоящей работы было сравнение митохондриальных геномов наземных и подземных видов подсемейства и выявление следов отбора в митохондриальных генах полевоочьих при переходе к подземному образу жизни на коротком временном отрезке. В нашу задачу входило – проверить, имеются ли в митохондриальных белок-кодирующих генах подземных грызунов специфические замены, и находятся ли они в гомологичных или в разных сайтах у филогенетических близких и далеких линий с подземным образом жизни.

Мы отсековенировали, собрали и проаннотировали новые полные последовательности митохондриальных геномов для 33 видов из 14 родов. Последовательности секвенированы в ЦКП «Геномика» Научно-технического института Сколково (<https://www.skoltech.ru/research/en/shared-resources/gcf-2/>) и собраны de novo с помощью SPAdes и депонированы в базе Генбанка.

В последующий анализ взяты дополнительно 22 митохондриальных генома полевоочьих из базы Генбанка. Таким образом, в анализ включены почти все представители подсемейства с подземным образом жизни: *Prometheomys schaposhnikovi*, *Lasiopodomys mandarinus*, *Ellobius* (все 4 вида), *Terricola subterraneus* и представители всех основных филогенетических линий (практически все рода подсемейства). Рассчитанные показатели (содержание GC, использование кодонов, анализ повторов) показывают разницу между подземными и наземными грызунами. Оценка действия отбора для 11 белок-кодирующих митохондриальных генов показала достоверные различия в 8 участках митохондриальных

генов (*atp6*, *cox1*, *cox3*, *nad2*, *nad3-6*). Во всех случаях подземные виды характеризовались большим значением показателя *w* (отношение несинонимичных замен к синонимичным), чем наземные. Оценка давления отбора показала, что больше, чем у половины митохондриальных белок-кодирующих генов подземных грызунов, по сравнению с наземными таксонами, отбор ослаблен. Параллельные аминокислотные замены, характерные для большинства подземных грызунов, обнаружены в комплексах генов *NAD*, *ATP* и цитохромов.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-74-20110.

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ МИКРОТОМОГРАФИЯ В СИСТЕМАТИКЕ И ФИЛОГЕНИИ ЗЕМЛЕРОЕК (LIPOTYRHILA: SORICIDAE)**

**Л.Л. Войта**

Компьютерная микрофотография (микро-СТ) на протяжении последнего десятилетия стала широко применяться в разных областях зоологии для получения первичной информации по анализу «скрытых» морфологических структур, моделированию динамических процессов в функциональной морфологии, реконструкции ископаемых остатков, трехмерной морфометрии и пр. В лаборатории териологии с 2016 г. ведется работа по внедрению микро-СТ для анализа морфологических признаков *Soricidae* и разработке алгоритмов обработки первичных данных сканирования, трехмерной реконструкции отдельных морфологических структур, использования трехмерной морфометрии и моделирования динамических процессов приведения нижней челюсти. В докладе представлены результаты анализа эндодонта верхних зубов современных бурозубковых землероек *Soricinae*. Эти результаты позволили сформулировать новый подход в одонтологии млекопитающих. Он может быть использован для описания дополнительных одонтологических признаков, для филогенетических исследований на морфологической основе и для определения гомологии элементов зуба.

Внутренние структуры зуба, или эндодонт (*endodont*) землероек представлен сложной системой пульпарных полостей, коронковых и корневых каналов. Основная проблема использования морфологии эндодонта в систематике млекопитающих сводится к наличию возрастных изменений объема полостей и каналов. Результаты анализа эндодонта верхних зубов землероек ожидаемо выявили постепенный про-

цесс образования и отложения дентина и, соответственно, уменьшение объема пульпы у молодых и взрослых особей *Sorex mirabilis*. Однако анализ возрастных изменений также выявил нерегулярность отложения дентина в разных частях пульпарной полости. Попытки объяснить избирательное зарастание пульпарной полости потребовали рассмотреть функции пульпарной полости зуба. По данным стоматологических исследований одной из нескольких функций полости является иннервация дентина, которая в свою очередь обеспечивает окклюзиальную чувствительность зуба. Учитывая сложность трехмерных жевательных движений землероек, основанную на подвижности симфиза нижней челюсти и строении краниомандибулярного сочленения, можно предположить адаптивную природу окклюзиальной чувствительности зубов хотя бы для сохранения элементов коронки от поломок. Выявленная избирательность отложения дентина также не согласуется с высоким уровнем метаболизма бурозубок, что косвенно указывает на эндогенное регулирование этого процесса.

Исследование проведено в рамках выполнения госзадания лаборатории териологии АААА-А19-119032590102-7 и гранта РФФИ 19-04-00049.

## **ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ ЧЕРВЕЙ И ПРОТИСТОВ – ЧТО ДЕЛАЕМ И ЧТО ХОТИМ СДЕЛАТЬ**

**К.В. Галактионов**

В лаборатории ведутся разноплановые исследования паразитических организмов разных таксонов – от протистов до паразитических ракообразных. Они включают описание фаун паразитов, таксономию, расшифровку жизненных циклов, анализ морфологии, филогенетику, взаимоотношения в системах «паразит–хозяин» и их коэволюцию, особенности трансмиссии паразитов. Методы – световая и электронная микроскопия, молекулярно-генетический анализ и экспериментальные исследования. Полевые работы выполняются как на суше (от Мурманской обл. до Камчатки и Беларуси), так и в море (Баренцево, Белое, Норвежское и Охотское моря, Северная Атлантика). При изучении протистов особое внимание уделено выяснению филогенетических взаимоотношений среди близкородственных грибов таксонов, в первую очередь паразитам водорослей афелидам (см.

тезисы С.А. Карнова) и хитридиомицетам, для которых обосновано новое сем. Ericiomycetaceae.

В коллекцию живых культур паразитических протистов ЗИН РАН за последние три года депонированы 73 изолята трипаносоматид. Описан новый род и 6 новых видов этих паразитических протистов и впервые расшифрованы жизненные циклы представителей родов *Vickermania* и *Angomonas*. У жгутиконосцев из родов *Blastocrithidia*, *Phytomonas* и *Vickermania* впервые обнаружены цитоплазматические симбионты, природа которых изучается. Большое внимание уделено работам в морях Арктики, в том числе проведен анализ мониторинговых данных (1981–2017 гг.) по динамике заражения прибрежных беспозвоночных Печорского моря личинками паразитов, который показал продвижение ряда видов в северном направлении. С использованием молекулярно-генетических методов удалось расшифровать ход жизненных циклов ряда трематод (виды сем. Notocotylidae, Gymnophallidae, Himasthlidae, Microphallidae, Rencolidae), уточнить видовые статусы и выполнить филогеографические реконструкции. Проведен предварительный анализ причин, которые обусловили у одних таксонов трематод формирование хорошо генетически обособленных сестринских видов в Северной Пацифике и Северной Атлантике, у других же различия удается выявить только на уровне гаплотипов при анализе митохондриальных генов, а у третьих в обоих сравниваемых регионах имеются общие гаплотипы.

На протяжении нескольких лет, включая текущий год, выполнялись исследования тонкой морфологии репродуктивных органов партенит дигенетических трематод – поколений, появление которых в ходе эволюции обеспечило расцвет этой группы паразитических плоских червей. Также впервые с использованием метода криофиксации удалось описать ультраструктурные особенности организации миниатюризованных мирацидиев трематод, не покидающих яйцевых оболочек. Экспериментальные исследования, проведенные на ББС ЗИН РАН «Картеш», позволили определить «окна трансмиссии» для разных видов трематод Белого моря и предложить модель, позволяющую прогнозировать интенсивность эмиссии трансмиссивных личинок-церкарий при различных температурных режимах. Интенсивные исследования фитопаразитических стволовых нематод позволили выявить паттерны их коэволюции с растениями хозяевами и насекомыми-переносчиками (см. тезисы А.Ю. Рысса). Впервые удалось обнаружить связь прорастающих тело ракообразных-хозяев столонов паразитических раков *Rhizocerphala* с нервной системой хозяев. Тем

самым выявлена материальная основа уникальной способности ризоцефал управлять поведением ракообразных-хозяев (см. тезисы А.А. Миролюбова).

Работа лаборатории осуществляется в рамках темы Государственных заданий № АААА-А19-119020690109-2 «Биоразнообразие паразитов, их жизненные циклы, биология и эволюция», 2 грантов РНФ и 4 исследовательских проектов РФФИ.

### **ФИЛОГЕНИЯ И СИСТЕМАТИКА СЕМЕЙСТВА ISSIDAE (HEMIPTERA, AUCHENORRHYNCHA, FULGOROIDEA) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ГЕНОМНОЙ ДНК**

**В.М. Гнездилов, Ф.В. Константинов, С.Ю. Бодров и О.В. Бондарева**

В последние годы цикадовые семейства Issidae оказались в фокусе филогенетических исследований специалистов из России, Франции и Китая. В данном сообщении приведены результаты двух первых лет проекта по изучению родственных отношений надродовых групп семейства на основе молекулярных данных с тестированием альтернативных морфологической (Гнездилов, 2016) и молекулярной (Wang et al., 2016) филогенетических гипотез.

В анализ были включены данные по четырем митохондриальным (COI, CytB, 12S, 16S) и пяти ядерным (H3, 18SII, 18SIII, 28S D3–D5, 28S D6–D7) маркерам для 48 видов, при этом информация по 32 видам из 27 родов впервые получена в ходе нашего исследования (Gnezdilov et al., 2020). Данные по еще 16-и видам из 16-и родов иссид, в основном ориентальных, были заимствованы из Генбанка. В качестве внешних групп были взяты представители семейств Fulgoridae и Kinnaridae. ДНК выделяли из грудной мускулатуры зафиксированных 96% этанолом представителей указанных семейств. Очищенные продукты секвенировали в обоих направлениях. Для филогенетического анализа полученные последовательности фильтровали по качеству и собирали в контиги в программе «Geneious Prime 2019.03». Далее все полученные последовательности по каждому гену были объединены в один fasta-файл и выровнены с использованием алгоритма Muscle. Для каждого генного участка в программе Mega X методами присоединения ближайшего соседа и максимального правдоподобия построены дендрограммы, а также создана единая матрица для всех участков с помощью программы SequenceMatrix. Анализ конкатенированных данных был



проведен методами максимального правдоподобия (RAxML) и Байесового анализа на сервере Cypres Science Gateway (<https://www.phylo.org>) с использованием модели GTR+I+G, заданной для каждого генного участка отдельно. Полученные топологии оказались конгруэнтными, но RAxML-дерево дало несколько меньшее разрешение по сравнению с Байесовым.

В результате анализа весь комплекс изученных таксонов распался на две большие группы, которым придан ранг подсемейств – Issinae Spinola, 1839 (= Thioniinae Melichar, 1906, = Hemisphaeriinae Melichar, 1906) и Hysteropterinae Melichar, 1906. При этом американские роды *Balduza*, *Proteinissus*, *Traxus* и *Cheiloceps* (подтриба Thioniina) формируют одну кладу со средиземноморскими родами *Issus* и *Latissus* (подтриба Issina в узком смысле), что противоречит сценарию раннего отделения американских Thioniinae от других Issidae и возможному возникновению семейства в Новом Свете, выдвинутому Ван с соавторами (Wang et al., 2016). Напротив, наши данные свидетельствуют в пользу существования общего предка для современных ориентальных, американских и палеарктических иссид.

Полученные результаты позволяют подразделить семейство Issidae на два подсемейства – Issinae и Hysteropterinae, где Issinae в свою очередь подразделяется на трибы Issini Spinola, 1839, с подтрибами Issina Spinola, 1839 и Thioniina Melichar, 1906, Sarimini Wang, Zhang et Bourgoin, 2016, Parahiraciini Cheng et Yang, 1991, Hemisphaeriini Melichar, 1906 и Kodaiianellini Wang, Zhang et Bourgoin, 2016. К подсемейству Hysteropterinae отнесены все западнопалеарктические таксоны, за исключением Issina.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-04-00065).

**ЛАБОРАТОРИЯ ПРЕСНОВОДНОЙ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ:  
НАПРАВЛЕНИЯ, ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**С.М. Голубков**

Время основания лаборатории – конец XIX века, когда в Зоологическом музее впервые были выставлены коллекции пресноводных беспозвоночных. Во второй половине XX века лабораторией руководили

выдающиеся гидробиологи: В.И. Жадин, Г.Г. Винберг, А.Ф. Алимов. К основным направлениям исследований лаборатории относятся изучение структурно-функциональной организации водных экосистем, инвентаризация фауны континентальных водоемов, систематика и филогения водных беспозвоночных. В рамках этих направлений исследованы многочисленные водоемы, расположенные в Ленинградской, Псковской и Архангельской областях, республиках Карелия и Бурятия, водоемы Крыма, Арктики, Памира и Монголии, Таймыра, дельты Волги и Северного Каспия, озер Байкал и Севан, а также водоемы многих зарубежных стран.

Специальное внимание уделяется долгосрочным исследованиям экологических систем водоемов Северо-запада России, в первую очередь эстуария реки Нева и озера Кривое (Северная Карелия). Такие долгосрочные исследования позволяют анализировать влияние климатических факторов на экосистемы водоемов. К важным направлениям исследований лаборатории относятся вопросы рационального использования водных биологических ресурсов, оценки экологического состояния водных экосистем, охраны и сохранения их биологического разнообразия. Большое внимание уделяется исследованиям по проблеме видов вселенцев. Исследования выполняются с применением как традиционных, так и современных методов, включая молекулярно-генетические методы и метод изучения пищевых цепей с помощью анализа концентрации стабильных изотопов в среде и теле гидробионтов. Для изучения параметров окружающей среды используются мультисенсорные платформы. Применяются методы математического моделирования функционирования экосистем и процессов в них. За последнее десятилетие в лаборатории выполняли исследования по многочисленным научным проектам, поддержанным РФФИ (19 исследовательских проектов), международной программой по изучению Балтийского моря БОНУС+ (3 проекта), программой Европейского союза по приграничному сотрудничеству. Выполнялись исследования по программам Президиума РАН и в рамках госконтрактов с Минприроды РФ и правительствами Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Сотрудники лаборатории принимали участие в подготовке современных изданий Красных книг животных Ленинградской области и Санкт-Петербурга.

За период с 2010–2020 гг. сотрудниками лаборатории опубликованы 9 монографий, определителей и атласов беспозвоночных животных континентальных водоемов и более 300 научных статей, включая статьи в ведущих международных журналах, в том числе за последние 5 лет –

15 статей в журналах 1–2 квартиля WoS. Описано несколько десятков новых для науки видов беспозвоночных из водоемов Европы, Азии, Северной и Южной Америки. Подведены итоги исследований потоков энергии, вещества и информации в водных экосистемах, закономерности роста и размножения водных животных, динамики численности, биомассы и продукционных характеристик их популяций под воздействием естественных и антропогенных факторов среды. Получены новые данные по влиянию климатических факторов на функционирование экосистем водоемов и роли аллохтонных органических веществ, поступающих с водосбора, в формировании продуктивности водных экосистем. Разработаны новые индексы, биомаркеры и показатели состояния экосистем водоемов, подвергающихся различным видам экологического стресса. Разработаны математические модели, описывающие динамику водных систем в зависимости от основных факторов среды.

В настоящее время исследования проводятся в рамках госзадания АААА-А19-119020690091-0, проектов РФФИ и международного проекта ER90 HAZLESS.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И ОБЩИХ  
ЭВОЛЮЦИОННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ  
НЕРВНОЙ, МЫШЕЧНОЙ И ПОЛОВОЙ СИСТЕМ  
АСОЕЛОМОРФА И ЛОРНОТРОСНОЗОА,  
ЭТАП 2019–2020 гг.**

**О.В. Зайцева**

С помощью конфокальной лазерной и электронной микроскопии, гистохимических и иммуногистохимических методов за отчетный период получены принципиально новые данные по организации и эволюционным преобразованиям нервной, мышечной и половой систем у представителей свободноживущих и паразитических плоских червей, немертин, моллюсков и аннелид. Выявлена и описана организация нервной системы преинвазионной стадии метацеркарии *Diplostomum pseudospathaceum*. Сравнение с ранее опубликованными данными по другим видам *Diplostomum* показывает, что число и расположение 5-НТ-ергических клеток являются видоспецифичными и могут использоваться в систематике этого рода. Выявлена мышечная организация прикрепительного органа *Lamellodiscus* (Monogenea: Diplectanidae).

Осуществлен анализ мышечной организации и иннервации глоток у представителей разных групп Rhabdocoela (прямокишечные турбеллярии), прослежен путь эволюции и формирование розетковидных глоток. Совместно с испанскими и шведскими коллегами впервые сделан и опубликован обзор по филогении, морфологии и исследованиям генома у Xenacoelomorpha – предположительно самой ранней ветви билатеральных животных. Получены принципиально новые данные по организации и возможной функции сенсорных органов и в целом – сенсорных систем немертин. Проведено сравнительное исследование организации катехоламинергической (КАе) составляющей части нервной системы у представителей немертин, гастропод и двух видов полихет (*Pygospio elegans* и *Protodrillus flavocapitatus*). Выявлено сходство в распределении КАе клеток у исследованных филогенетических групп животных.

Показано, что основная часть КАе системы представлена многочисленными сенсорными клетками, расположенными в коже всего тела, в эпителии пищеварительного тракта и в ряде сенсорных органов. Характер распределения этих клеток, их морфологические особенности и зоны иннервации позволяют предположить их механорецепторную функцию. КАе нейроны осуществляют эфферентную иннервацию мускулатуры тела и основных ретракторов у исследованных животных. Эти данные свидетельствуют в пользу универсальности основных принципов организации и функции КАе систем у полихет, немертин и гастропод. Впервые с помощью иммуногистохимии и конфокальной микроскопии получены данные о морфологических особенностях и распределении сенсорных клеток у погонофор, выявлена организация их периферической нервной системы.

Сделано таксономическое описание крайне необычной для распределенного мелководья Енисейского залива находки одного из крупнейших видов погонофор. Новый вид является первым представителем редкого рода *Galathealinum* в евроазиатской части Северного Ледовитого океана и отличается от других видов рода рядом необычных или даже уникальных морфологических признаков. Созданы три определительных ключа для видов рода *Galathealinum*, а также для всех известных в Арктике видов погонофор, включая определитель по пустым трубкам. Осуществлена таксономическая характеристика морфологических признаков, относящихся к половой системе и половым продуктам (спермиям, сперматофорам, яйцам), а также экологических и поведенческих особенностей процесса размножения погонофор, включая эмбриональ-

ное и ларвальное развитие. Получены новые данные по организации мускулатуры копулятивных органов у 12 видов пресноводных легочных моллюсков (*Hygrophila*). Эти данные хорошо согласуются с филогенией *Hygrophila* и позволяют получить надежные синапоморфии для большинства крупных таксонов этой группы.

Результаты работы представлены в виде 20 статей в научных рецензируемых журналах, из которых 6 статей в журналах квартиля 1 – 2, 4 статьи в журналах квартиля 3 – 4, 14 статей в журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science и Scopus), а также в виде 9 докладов на международных и российских конференциях.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № АААА-А19-119020690076-7.

## **АКОНТИИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМАТИКИ АКТИНИЙ НА ПРИМЕРЕ *HALIACTIS ARCTICA* CARL GREN, 1921 (ANTHOZOA, ACTINIARIA, HALIACTINIDAE)**

**Н.Ю. Иванова**

Многие актинии разных семейств характеризуются специализированные стрекательными органами – аконтиями. Анатомическое и гистологическое исследование строения аконтий закапывающейся актинии *Haliactis arctica* Carlgren, 1921 (*Haliactinidae* Carlgren, 1949) подтверждает общность строения аконтий внутри отряда Actiniaria.

Аконтии – это нитевидные структуры, прикрепленные одним концом к краю мезентерия, а другой остается свободным в гастральной полости полипа. Обычно каждый мезентерий несет только одну аконтию, однако у некоторых актиний на одном мезентерии формируется несколько аконтий, расположенных в ряд. Одно из первых подробных исследований аконтий показало, что на поперечных гистологических срезах они характеризуются T-образной формой. Центральную часть аконтии занимает уплощенная мезоглея, которая разделяет аконтию на наружную и внутреннюю части, представленные разными типами клеток. Мезоглея формирует небольшой вырост, по обе стороны которого расположены мышечные волокна, способствующие изгибанию и закручиванию аконтий. Позже было обнаружено, что аконтии также могут быть серповидной или округлой формы и не иметь четкого мезоглеального гребня. Для аконтий характерен особый набор нематоцист (книдом), который не встречается в других частях тела

полипа. Благодаря нематоцистам аконтии выполняют функции защиты и нападения. Аконтии выбрасываются с потоками воды через рот и/или цинклиды (отверстия в стенке тела) при угрозе, а после ее прекращения они втягиваются обратно в гастральную полость.

Аконтии имеют большое значение для систематики Actiniaria. Наряду с другими морфо-анатомическими признаками они используются для характеристики таксонов ранга надсемейств и семейств. Поскольку структура аконтий сходна у полипов, наибольшую значимость имеет их киндом. На основе этого признака различают большинство семейств актиний.

Однако в некоторых случаях такой таксономически важный признак не проявляется, что приводит к серьезным ошибкам при определении животного. Отсутствие аконтий у некоторых представителей *Haliactis arctica* привело к напрасному описанию нового вида – *Acthelmis schaudinnii* Carlgren, 1921. Мы также обнаружили, что часть полипов этого вида лишена аконтий, а у многих экземпляров они не многочисленны. Скучное развитие аконтий или их отсутствие отмечено также у другого представителя Haliactinidae – *Phytocoetes gangeticus* Annandale, 1915. Кроме того, отсутствие аконтий наблюдалось у глубоководных *BathypHELLIA margaritacea* (Danielssen, 1890) (BathypHELLIIDAE Carlgren, 1932) и *Seepactis galkini* Sanamyan & Sanamyan, 2007 (Kadosactinidae Riemann-Zürneck, 1991).

Отсутствие аконтий объясняется несколькими предположениями. С одной стороны, аконтии могут разрушаться во время сбора проб с больших глубин. С другой стороны, они могли неоднократно редуцироваться в ходе эволюции при возникновении актиний Mesomyaria от представителей Acontaria. Мы предполагаем, что ключом к пониманию этого странного явления могут служить наблюдения о формировании других стрекательных образований: боевых щупалец и акрорагов. Эти структуры, как правило, образуются в случае враждебного поведения. Возможно, что развитие аконтий также связано с возникновением агрессивных факторов окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №19-34-90083 и №18-05-60157 и в рамках государственного задания №АААА-А19-119020690072-9.

## АФЕЛИДЫ – ПАРАЗИТОИДЫ ИЛИ ХИЩНИКИ?

С.А. Карпов

Афелиды считаются паразитоидами водорослей, похожими внешне на паразитические хитридиомицеты. Микологи даже склонны относить их к грибам, игнорируя тот факт, что афелиды – фаготрофы, а не сапротрофы, как все грибы. По данным мультигенной филогении афелиды образуют сестринскую кладу грибам, поэтому у этих двух групп – общий предок. Кроме того, афелиды близкородственны розеллидам и микроспоридиям, поэтому по праву считаются ключевой группой в филогении Holomycota.

Несмотря на большой интерес к афелидам и немалые усилия нескольких лабораторий мира в изучении их разнообразия, наши знания о них все еще весьма ограничены: мы не знаем всех стадий жизненного цикла афелид, их биологические особенности во многом загадочны; трудно даже сказать, действительно они являются паразитоидами, или это – хищные амёбоидные протисты, питающиеся водорослями. С одной стороны, их жизненный цикл насчитывает до 6 стадий, и показана их высокая специфичность к хозяину, с другой – жизненный цикл, по сути, сводится к тому, что амёба проникает внутрь клетки водоросли и выедает ее содержимое. Их геном не является редуцированным, как это свойственно их близкородственным паразитоидам розеллидам и паразитам микроспоридиям, а обеспечивает в клетке те же метаболические пути, которые свойственны свободноживущим хитридиомицетам.

Пристальное внимание к трофической стадии афелид выявляет интересные факты: после выедания цитоплазмы хозяина амёба становится плазмодием, который окружен снаружи еще одной мембраной. Анализ электронограмм показал, что молодой трофонт довольно рано попадает внутрь клетки хозяина и находится в его внутренней вакуоли, а не между клеточной стенкой и поверхностной мембраной хозяина, как считалось ранее. Более того, уже на этой ранней стадии мембрана паразитофорной вакуоли хозяина и поверхностная мембрана паразита, судя по толщине, являются внутриклеточными мембранами, а не поверхностными.

Другими словами, в процессе заражения клетки водоросли происходит трансформация поверхностной мембраны паразитоида и участка поверхностной мембраны хозяина, ставшей мембраной

паразитофорной вакуоли после «заглатывания» афелиды. Эти сложные процессы напоминают те, что происходят при внедрении настоящих паразитов (например, микроспоридий или кокцидий) в клетки многоклеточных животных. Как видно, взаимодействие афелиды и водоросли трудно свести к отношениям хищника и жертвы, при которых таких адаптаций, очевидно, не происходит. Вероятно, будущие исследования будут посвящены сравнению геномов афелид и нуклеарий, которые также питаются водорослями, но не считаются паразитоидами.

Госзадание № АААА-А19-119020690109-2

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛИКТОВЫХ СООБЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ ВЯЗА ЯПОНСКОГО НА ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЕ ЕГО АРЕАЛА**

**Б.А. Коротяев, О.А. Аненхонов, Е.В. Софронова,  
А.П. Софронов, В.В. Чепинога**

Цель проекта – на основании результатов исследований состава и структуры биоты неморальных рефугиумов с участием ильма японского выявить распределение в этих сообществах редких и реликтовых видов организмов, рассмотреть вклад рефугиумов в биоразнообразие региона и разработать концептуальные схемы возможных направлений динамики этих уникальных сообществ.

Население полужесткокрылых и жесткокрылых в лесах с участием японского вяза нигде подробно не описано. В изученных лесах оно оказалось умеренно богатым и своеобразным; в них обнаружены 97 видов клопов и 140 видов жуков надсемейства Curculionoidea – наиболее богатой видами группы жесткокрылых в лесах этого региона. Среди клопов из специфических фитофагов вязов на *U. japonica* найдены два представителя семейства Miridae: *Pilophorus mongolicus* Kerzhner (зоо-фитофаг), ранее известный с вяза японского по единственной находке, и *Psallus ulmi* Kerzhner et Josifov, обычный в большинстве мест произрастания *U. japonica*. Оба вида нередки на юге Бурятии на *Ulmus pumila*. Из долгоносиков специфичным для *U. japonica* может быть недостаточно изученный вид рода *Anthonomus*, численность которого в 2018 и 2019 гг. была чрезвычайно низкой. Единственный обычный на вязах во всех обследованных местах долгоносик, листовой минер *Orchestes mutabilis*,



на юге Забайкалья в массе развивается также на *U. pumila* в местах контакта его степных сообществ с пойменными лесами с участием обоих вязов. Смены группировок клопов и долгоносиков на *U. japonica* в разных зональных условиях не обнаружено. На этом фоне выделяются богатство консорциев весенне-летнего рудерального эфемера в пойменных лесах, крупки дубравной *Draba nemorosa*, на которой кормятся (и по большей части, вероятно, развиваются) 5 видов долгоносиков рода *Ceutorhynchus*, и смена состава этих консорциев в широтном направлении. Обнаружена большая общность группировок долгоносиков и короедов на вязах японском и приземистом, создающая возможность транспалеарктической циркуляции фитофагов и патогенов вязов, угрожающей состоянию вязовых древостоев.

В ходе поисков вяза японского в Баргузинской котловине было обследовано прирусловое сообщество чозении толокнянколистной (*Chosenia arbutifolia*) с единичными тополями (*Populus laurifolia*). Чозенник интересен тем, что расположен у юго-западного предела распространения вида. Ни один из 4 долгоносиков – монофагов чозении, известных с Дальнего Востока, не был найден на ней в Баргузинской котловине, а обитающие здесь на ней усачи и листоеды, как и на Дальнем Востоке, общие либо с тополевыми, либо с ивовыми группировками.

Был изучен и описан расположенный на небольшом удалении от чозенника участок склоновой злаково-разнотравной степи с полынью холодной (*Koeleria cristata*, *Poa botryoides*, *Thymus baicalensis*, *Orostachys spinosa*, *Artemisia frigida*, *Chamaerhodos altaica*, *Carex duriuscula*, *Pulsatilla turczaninovii* и др.) на коренном склоне, который в отрицательных формах рельефа перекрыт каменисто-щебнистыми делювиальными отложениями. Степи Баргузинской котловины представляют собой наиболее северные сообщества монголо-китайских степных формаций. Население долгоносиков на участке площадью примерно в 20 гектаров образовано всего 17 видами и в 10 раз уступает по разнообразию населению равнинных степных группировок Северо-Западного Кавказа.

Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 18-05-00557 А). Работа Б. А. Коротяева выполнена на основе коллекции ЗИН в рамках государственной темы АААА-А19-119020690082-8 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-04-00565 А).

**ЛАБОРАТОРИЯ КЛЕТОЧНОЙ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ  
ПРОТИСТОЛОГИИ ЗИН РАН: СИНТЕЗ ТРАДИЦИИ  
И НОВЫХ ПОДХОДОВ В ИЗУЧЕНИИ  
ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ЭУКАРИОТ**

**А.А. Кудрявцев**

В декабре 2018 г. Зоологический институт РАН получил возможность создания новой лаборатории в рамках Приоритетного национального проекта «Наука». Так родилась лаборатория клеточной и молекулярной протистологии, основу которой составили выпускники и аспиранты биологического факультета СПбГУ. Предметом исследований, ведущихся в новой лаборатории, стали протисты, также известные как одноклеточные эукариоты. По современным представлениям о систематике живого мира, протисты – это не таксон, а уровень организации живого организма. Они являются либо одноклеточными, представляя собой отдельные клетки, выполняющие все функции самостоятельного живого организма, либо являются колониями в большей или меньшей степени специализированных клеток. Таким образом, в современной системе живого под названием «протисты» объединяются все эукариотные организмы, за исключением многоклеточных животных, высших грибов и сосудистых растений. Протисты входят в состав всех главных эволюционных ветвей эукариот. Трудно переоценить роль одноклеточных эукариот в биосфере и их практическое значение для развития биологических исследований.

Эти организмы встречаются практически во всех биотопах, достигая в них огромной биомассы. Многие из них являются продуцентами, многие виды являются консументами бактерий. Они участвуют в транспортировке накопленного последними органического вещества на более высокие трофические уровни в составе микробной петли. За счет способности к биоминерализации многие протисты играют важную роль в круговороте минеральных элементов в биосфере. Огромное разнообразие паразитических протистов имеет важное биологическое и медико-ветеринарное значение, оказывая значительное влияние на жизнь организмов-хозяев. Все эти особенности протистов определяют круг тем, работу над которыми начал коллектив лаборатории. Общим местом наших исследований является попытка синтеза результатов, полученных разными методами на разных уровнях организации, – в частности, клеточном, субклеточном и молекулярном.

В первую очередь, проводимые нами исследования направлены на выявление филогенетических связей между разными таксонами протистов и построение их интегративной системы, основанной на реконструкции филогении всеми доступными методами. Мы проводим эти исследования на лобозных амебах (Amoebozoa), фораминиферах, центрохелидных солнечниках и инфузориях (Ciliophora). В рамках этих исследований мы также проводим инвентаризацию биоразнообразия и разработку методов и подходов к идентификации видов. Непосредственно связано с этим направлением изучение закономерностей географического распространения и экологических особенностей разных видов. Еще одной темой, разрабатываемой в лаборатории, является реконструкция происхождения сложных жизненных циклов на примере базальных эволюционных линий, родственных грибам. Также жизненные циклы одноклеточных эукариот изучаются на примере центрохелидных солнечников: мы пытаемся разобраться в механизмах варьирования особенностей морфологии клетки при смене стадий. Не обойдена нашими исследованиями и такая тема, как симбиотические системы, образуемые протистами. Исследование последних осуществляется на примере жгутиконосцев-трипаносоматид (совместно с группой А.О. Фролова) и инфузорий из рода *Paramecium*.

Исследования лаборатории выполняются в рамках темы госзадания № АААА-А19-119031200042-9 и гранта РНФ 20-14-00181.

## **ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ – ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ**

**С.Г. Медведев**

Лаборатория по изучению паразитических членистоногих (ранее – паразитологии) Зоологического института РАН была создана в 1930 г. по инициативе действительного члена Академии наук СССР Е.Н. Павловского. Лабораторию возглавляли: с 1942 по 1973 г. профессор А.С. Мончадский, с 1973 по 1977 гг. – К.А. Бреев, с 1977 по 2006 гг. – член-корреспондент РАН Ю.С. Балашов, с 2006 г. по настоящее время – профессор С.Г. Медведев. Основные задачи лаборатории – разработка фундаментальных вопросов морфологии, экологии, систематики и фауны паразитических и кровососущих клещей и насекомых. В лаборато-

рии паразитологии находится одна из крупнейших мировых коллекций паразитических членистоногих, насчитывающая более 0.5 млн единиц хранения. В 1971 г. на базе лаборатории впервые было создано отделение электронной микроскопии для внедрения ее методов в зоологические исследования.

В последние годы на примере различных групп паразитических клещей были установлены особенности возникновения постоянного паразитизма и коэволюционных отношений с хозяевами. Рассмотрены вопросы филогеографии паразитов, реверсии постоянного паразитизма и значение горизонтальной смены хозяев в эволюции клещей – паразитов млекопитающих и птиц. На примере галловых клещей Eriophyoidea выявлены важнейшие аспекты эволюционной пластичности фитопаразитических членистоногих и разработаны новые подходы к изучению фитопаразитарных систем на основе современных молекулярных методов. Получены новые данные о морфологическом и таксономическом разнообразии, филогении и паразито-хозяйных отношениях основных групп акариформных и паразитиформных клещей, насекомых отряда блох, а также кровососущих мошек и комаров. Описано более 1000 новых видов и 30 новых родов паразитических членистоногих фауны различных континентов. Впервые открыт новый тип шелка членистоногих, продуцируемый дермальными железами водяных клещей и детально изучена ультраструктурная организация стилостома у представителей клещей группировки Parasitengona (Acariformes). Открыто и объяснено новое явление – проникновение некоторых видов иксодовых клещей, переносчиков опасных заболеваний, в урбанизированные биотопы: раскрыт механизм, обеспечивающий скопление клещей возле пешеходных троп в городских парках. Установлены механизмы формирования многолетних жизненных циклов у европейского лесного (*Ixodes ricinus* L., 1758) и таежного (*I. persulcatus* Sch., 1930) клещей (Acari, Ixodinae) на северо-западе России. Впервые разработана информационно-аналитическая система по мировой фауне отряда блох и осуществлено комплексное исследование морфологии, географического распространения и паразито-хозяйных связей представителей отряда. Разработаны методы районирования территорий с учетом особенностей распространения амфибионтных насекомых, а также оригинальная комплексная методика исследования плейритов груди кровососущих комаров (Diptera, Culicidae). Результаты представлены в более чем 400 публикациях сотрудников лаборатории за период с 2010 по 2020 гг.

Министерство науки и высшего образования, проект: «Разработка современных основ систематики и филогенетики паразитических и кровососущих членистоногих» (Гос. Регистрационный номер: АААА-А19-119020790133-6). Гранты РФФИ 19-04-00759 – «Разработка современных подходов к видовой идентификации блох – активных переносчиков природночаговых заболеваний» АААА-А19-119011690100-7

## **КАК КОРНЕГОЛОВЫЕ РАКООБРАЗНЫЕ (CIRRIPEDIA: RHIZOCERHALA) ПОДЧИНЯЮТ СВОЕЙ ВОЛЕ ХОЗЯИНА? ЧТО ИЗВЕСТНО И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**А.А. Миролобов, А.Д. Лянгузова, М.А. Нестеренко,  
С.А. Илюткин, Н.Е. Лапшин**

Все паразиты оказывают влияние на своих хозяев, но его характер сильно различается у представителей разных таксонов. В случае корнеголовых ракообразных – паразитов десятиногих раков (*Decapoda*) – можно говорить, пожалуй, о наибольшем успехе паразита в управлении своим хозяином. В ходе эволюции и адаптации к паразитическому образу жизни ризоцефалы утратили практически все черты свободноживущих родственников – у взрослого животного отсутствуют сегментация, оси тела и большинство систем органов, а само тело представлено ветвящимся столоном в полости тела хозяина (интерной) и несущим репродуктивную функцию мешковидным образованием, вынесенным за пределы тела хозяина (экстерной). В то же время они приобрели специализированные структуры и молекулярные механизмы, участвующие во взаимодействии с хозяином. Под контролем ризоцефал оказываются физиология (в том числе личинный и репродуктивный циклы), морфология и даже поведение крабов-хозяев. Так, заражённые самцы крабов претерпевают «феминизацию»: у них расширяется абдомен, появляются поведенческие паттерны, характерные для вынашивающих потомство самок, что выражается в заботе о развивающихся в экстерне личинках паразита. Кроме того, у крабов, несущих на себе экстерну корнеголовых, наблюдается снижение уровня агрессии, что приводит к уменьшению риска повреждения экстерны. Несмотря на наличие явных и наглядных признаков воздействия ризоцефал на своих хозяев, до недавнего времени было известно сравнительно мало о том, каким образом осуществляются эти паразито-хозяинные взаимодействия.

Нам впервые удалось обнаружить, что некоторые столоны интерны корнеголовых ассоциированы с ганглиями брюшной нервной цепочки хозяина. Столоны паразита проникают под оболочку ганглиев и внедряются в нервную ткань. При этом значительно изменяется как общая морфология, так и тканевая структура, и ультраструктура этих столонов по сравнению с обычными трофическими. Дистальные участки этих столонов преобразуются в специализированные бокаловидные органы. Детали строения различаются, но такие специализированные столонны были обнаружены нами у всех обследованных видов ризоцефал. Ультраструктура клеток и кутикулы столонов, располагающихся в нервной ткани, указывают на крайне высокий уровень метаболической активности и транспорта веществ. Мы предполагаем, что ассоциированные с нервной тканью хозяина столонны играют значительную роль в регуляции паразито-хозяинных взаимодействий. Вероятно, именно с помощью столонов, проникающих в ганглии, паразит напрямую воздействует на нервную систему хозяина, что выражается в изменении уровня нейросекретов, регулирующих поведение краба-хозяина.

Кроме того, в ходе нашего исследования обнаружено, что трофические столонны паразита оплетены сетью из нервных волокон хозяина. Этот феномен также можно рассматривать как один из вариантов тесных паразито-хозяинных взаимодействий, обеспечивающих успешное функционирование ризоцефал в организме краба-хозяина.

В данный момент мы продолжаем исследование механизмов паразито-хозяинных взаимодействий с помощью молекулярных (транскриптом и геном), а также протеомных методов.

Исследование выполняется в рамках лабораторной темы № АААА-А19-119020690109-2 и гранта РФФИ № 18-34-00727 мол\_а.

## **КОНТРОЛЬ НОЧНОЙ АКТИВНОСТИ У МИГРИРУЮЩИХ ВОРОБЬИНЫХ ПТИЦ**

**А.Л. Мухин**

Во время миграционных периодов многие виды певчих птиц полностью меняют ритм своей локомоторной активности и совершают ночные полеты на большие расстояния (Gwinner 1986). Считается, что переход на ночную полетную активность регулируется эндогенными

цирканнуальными программами (Bartell & Gwinner 2005). Общее мнение о том, что ночной образ жизни в годовом цикле птиц неразрывно связан с сезонами миграции, недавно поколебали многочисленные новые факты полевых исследований, показывающие, что воробьиные птицы совершают ночные полеты даже во время размножения (Mukhin et al. 2005, 2009; Roth et al. 2009; Väckman et al. 2017).

В нашем исследовании мы проверили, развивают ли птицы с прерванным размножением ночную локомоторную активность, аналогичную миграционному беспокойству содержащихся в клетках птиц. Мы искусственно прерывали размножение тростниковых камышевок, поместив их в клеточные условия на расстоянии в 20 км от их гнезд и регистрируя двигательную активность птиц в течение 5–7 дней после смещения (Mukhin et al. 2018). За это время у большинства содержащихся в неволе птиц постепенно развивалась ночная локомоторная активность, не наблюдаемая у успешно гнездящихся птиц. Когда позже птицы, помеченные радиопередатчиками, были выпущены на волю, выяснилось, что особи с развившейся ночной клеточной активностью тут же стартовали ночным полетом в сторону своих гнезд, где и были нами проконтролированы после успешного возвращения.

Результаты нашего исследования позволяют нам сделать вывод, что прерывание размножения вызывает развитие ночной полетной активности, а уровень активности в клетках коррелирует с мотивацией к совершению ночных полетов в природе. Подробное изучение характера развития ночной локомоторной активности в период размножения показало, что развивается она таким же образом, что и ночная локомоторная активность в миграционный период – постепенно, с увеличивающимся фазовым сдвигом по отношению к дневной активности. Видео регистрация типов локомоторных актов в ночное время позволила установить, что они стереотипны и соответствуют таким же, хорошо известным актам ночной активности в миграционный период: трепетание крыльями, имитирующее полет; сканирующие движения головой. Все это приводит нас к выводу, что летняя ночная активность, вызванная искусственным прерыванием размножения и ночное миграционное беспокойство (*Zugunruhe*), наблюдаемое у мигрирующих певчих птиц в неволе, очень похоже как по характеру развития, так и по локомоторным актам, и в природе реализуемые как ночной полет, находятся под контролем одних и тех же центров циркадианной ритмичности.

Работа выполнена в рамках темы госзадания АААА-А19-119021190073-8 и была поддержана грантом РФФИ № 17-14-01147

## БЕЛОМОРСКИЕ КОВШОВЫЕ ГУБЫ С ГЛУБОКОВОДНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ФАУНОЙ

А.Д. Наумов, О.Н. Савченко

Среди морских водоемов есть такие, которые отделены от соседних акваторий мелководным и узким проливом. По терминологии Гурвича (1934) их называют *ковшовыми*. Такие водоемы в некоторых случаях имеют гидрологический режим, существенно отличающийся от такового сопредельных вод, и потому их донная фауна другая.

Само Белое море – тоже ковшовый водоем, при этом в нем есть некоторые губы, имеющие аналогичный характер. Часть из них обладает такими особенностями водообмена, что в их котловинах круглый год сохраняются холодные зимние воды. В результате в этих губах на очень небольших глубинах встречаются сообщества, близкие к тем, которые в открытой части моря обитают в основном не выше 150-метровой изобаты. Данные водоемы являются одной из основных тематик исследований бентосной группы ББС с 1973 г., поскольку представляют собой природные миниатюрные модели Белого моря (Наумов, 1979, 2006, 2019).

Известные к настоящему времени беломорские ковшовые губы с арктической фауной следует перечислить. Это – Долгая губа Соловецкого острова (Книпович, 1893; Ливанов, 1911; Чуднов, 1926; Наумов, Ошурков, 1982; Нинбург, 1990), Бабье море (Гурвич, 1924; Наумов, 2016; Наумов, Мартынова, 2016; Наумов и др. 2016), Лов (Наумов, 1979; Наумов и др. 2018), Колвица (Наумов и др. 1986; Наумов и др., в процессе обработки материала), губа Чупа (Денисенко и др. 2017; Савченко и др., в процессе обработки материала), губа Палкина (Голиков и др. 1982; Наумов и др., в процессе обработки материала), губа Никольская (Чивилев, Миничев, 1993; Ivanov et al., 2013; Наумов и др., в процессе обработки материала), губа Канда, превращенная дамбами железной и шоссейной дорог в пресноводные озера (Чеченков и др. 1982) и губа Порья (Денисов, не опубликовано).

В качестве контрольного водоема избрана губа Медвежья, не имеющая порога на входе (Наумов, Савченко, в процессе обработки материала). Все названные губы, за исключением Долгой, расположены в Кандалакшском заливе.

Структура вод ковшовых губ с арктическим донным населением напоминает таковую открытых участков Бассейна, однако слой пик-



ноклина в них располагается существенно выше, а холодноводная область начинается уже с глубин от 20 до 40 м, в то время как в основной беломорской котловине – глубже 150 м. Концентрация растворенного кислорода и в губах, и в Кандалакшском желобе растет с глубиной, что указывает на сходство водообменных процессов: во всех случаях в придонные слои воды с мелководного порога стекают сильно охлажденные зимние поверхностные воды с повышенным содержанием этого газа.

Бентосные сообщества ковшовых губ сходны с таковыми, встречаемыми на максимальных глубинах Бассейна по биомассе и биогеографической структуре, но несколько отличаются по видовому составу. Доминирующий по биомассе вид, встреченный в них во всех, – *Portlandia arctica* (Gray). Эта форма, как было показано нами ранее (Наумов, 1976), представляет собой индикатор высокоарктических вод. Второй вид, весьма характерный для этих биотопов, – *Cossura longicirrata* Webster et Benedict. В губах в этих сообществах в качестве субдоминирующих форм нередко встречаются *Elliptica elliptica* (Brown) и *Macoma calcarea* (Gmelin).

Беломорские ковшовые губы с арктической донной фауной – уникальные водоемы, которым крайне желательно присвоение статуса памятников природы. В них должно быть запрещены установка фермерских хозяйств и любые работы, влияющие на водообмен.

Мы выражаем глубокую признательность всем нашим коллегам, помогавшим нам в работе, и благодарим экипажи судов ББС ЗИН РАН и ББС МГУ, с борта которых был собран материал.

Работа финансировалась из различных источников, в частности по текущей государственной теме регистрационный № АААА-А19-119022690122-5.

## **ГРИБЫ И ГРУППА HOLOMYCOTA: СКОЛЬКО РАЗ ВОЗНИКАЛ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ**

**И. Поздняков, А. Золотарёв**

Сравнительный анализ морфогенетических процессов и жизненных циклов современных представителей группы Opisthokonta на молекулярном уровне позволяет реконструировать предковые молекулярные процессы и генетические механизмы, послужившие преадаптациями для многоклеточности. Большинство организмов линии Holomycota (одной из двух ветвей внутри Opisthokonta) имеют однотип-

ный жизненный цикл: питающиеся неподвижная стадия – подвижная зооспора (обычно жгутиковая) – циста. Легко предположить, что цикл возник у общего предка Holomycota. Среди генов, повышающих экспрессию при зооспорогенезе бластокладиевого гриба *Blastocladiella emersonii*, 77% имеют гомологи у *Paraphelidium tribonemae*, представителя Aphelidea, сестринской к грибам линии. Однако из них 98% генов имеют гомологи также во всей группе Opisthokonta, и лишь 2% не обнаруживаются у представителей Holozoa (группы, сестринской к Holomycota). При этом около 25% генов с усиленной экспрессией при зооспорогенезе характерны исключительно для линии грибов (Fungi). Итого среди генов, контролирующих зооспорогенез бластокладиевого гриба, есть гены, универсальные для Opisthokonta, специфичные для Fungi, и почти отсутствуют гены, специфичные для группы Holomycota. Выдвинута гипотеза о независимом возникновении сложного жизненного цикла в разных линиях Holomycota на основе предкового полиморфизма.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № АААА-А19-119031200042-9

## ЛАБОРАТОРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭНТОМОЛОГИИ: ТЕКУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ПУБЛИКАЦИЙ 2018–2020 ГГ.)

**С.Я. Резник**

Работа лаборатории экспериментальной энтомологии традиционно строится таким образом, чтобы совмещать исследование фундаментальных проблем с разработкой научных основ биологической борьбы с вредными насекомыми. Исследования, завершённые в 2018–2020 гг., были посвящены следующим темам.

### 1. *Регуляция диапаузы насекомых-паразитоидов.*

Исследовано влияние температурных условий развития поколения, предшествующего материнскому, на индукцию диапаузы потомства *Trichogramma telengai*. Ранее «бабушкин» (grandmaternal) эффект температуры не был обнаружен ни у одного насекомого.

Исследование влияния единичных ультракоротких (менее 8 ч) дней на индукцию диапаузы потомства *T. telengai* позволило впервые для насекомых показать, что этот процесс происходит в соответствии с ранее

выдвинутой Д. Сондерсом и соавторами гипотезой о «затухающем осцилляторе».

Исследован размах индивидуальной изменчивости самок паразитоидов *T. telengai* и *Habrobracon hebetor* по индукции диапаузы потомства.

Эти результаты имеют не только теоретическую, но и практическую ценность, так как трихограммы и габробракон широко используются для борьбы с чешуекрылыми вредителями, а индукция диапаузы необходима для длительного хранения энтомофагов на биофабриках.

## 2. Сравнительные эколого-физиологические исследования автохтонных и инвазивных популяций насекомых-инвайдеров.

Лабораторные эксперименты показали, что при прочих равных условиях особи из инвазивной (Сочи) популяции хищной божьей коровки *Harmonia axyridis* более склонны к межличиночному каннибализму, чем особи из автохтонной (Иркутск) популяции, хотя устойчивость к голоданию не зависит от популяционной принадлежности личинок. Анализ влияния плотности популяции на созревание самок тоже показал, что особям из инвазивной популяции свойственна большая агрессивность. Также выявлены существенные различия в характере влияния температуры, фотопериода и вида корма на скорость преимагинального развития и на вес имаго из автохтонной и инвазивной популяций.

Показано, что пороговая длина дня, при которой наблюдается индукция диапаузы, у особей из инвазивной кавказской популяции злостного инвайдера, коричневого мраморного клопа *Halyomorpha halys*, на 1 час больше, чем у особей из автохтонной корейской популяции, что может рассматриваться как адаптация к относительно более раннему осеннему снижению температуры.

Результаты этих исследований важны для как анализа факторов, способствующих инвазии, так и для прогноза дальнейшего расселения инвазивных видов.

## 3. Изучение механизмов индукции диапаузы с целью усовершенствования методики длительного хранения хищных насекомых, применяющихся для биологической борьбы с вредителями в теплицах.

Изучено влияние температуры и фотопериода на скорость созревания и индукцию репродуктивной диапаузы хищной божьей коровки *Cheilomenes propinqua* и хищного клопа *Dicyphus errans*. На основании результатов исследований даны рекомендации по разведению и длительному хранению этих полезных энтомофагов.

Исследования были проведены в рамках госзадания А19-119020690082-8, программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России» и грантов РФФ 20-66-47010 и РФФИ 20-04-00185-а, частично в сотрудничестве с ВИЗР, СПбГЛТУ, СПбГУ и ИФ им И.П. Павлова.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ В ЛАБОРАТОРИИ ИХТИОЛОГИИ**

**В.Г. Сиделева**

Лаборатория ихтиологии существует со времени основания Зоологического музея Императорской Академии Наук, первоначально в качестве общего с герпетологами отделения, с 1915 г. – как самостоятельное отделение и с 1942 г. – в статусе лаборатории. Основным направлением лаборатории было и остается изучение фауны рыб Северного и Южного полушарий – Антарктики, Арктики и разработка систем отдельных групп морских и пресноводных рыб, отражающих их филогенетические отношения. Материалы, собранные в многочисленных экспедициях, позволили создать самую обширную коллекцию рыб в России и одну из крупнейших в мире. В настоящее время 90% научных сотрудников заняты изучением морских рыб. Объектами исследований пресноводных видов служили рыбы России и сопредельных стран, а также группы лососевидных, карповых и коттоидных. Начатые Л.С. Бергом исследования коттоидных рыб, в настоящее время продолжаются в рамках основной темы лаборатории. В результате проведенных таксономических ревизий и описания новых видов фауна коттоидных рыб России и сопредельных территорий насчитывает около 60 видов, что составляет 50% мировой фауны. Эта группа рыб одна из самых распространенных в Северном полушарии, так как встречается в подавляющей части рек и озер Северной Евразии и Америки. Современное направление исследований – создание системы пресноводных коттоидных рыб (Cottoidei) и подготовка монографии в серии «Фауна России».

В последние годы исследования сфокусированы на изучении сообществ рыб в районах Средней Азии и Восточной Европы. В частности, проведена таксономическая ревизия коттоидных рыб, обитающих в бассейне р. Сырдарья и описан новый вид. Проводится изучение коттоидных рыб из водоемов Европейской части России, Финляндии и Литвы, сложная история расселения которых сопряжена с чередованием

оледенений и потеплений Северной Европы и неоднократной реколонизацией образовавшихся водоемов формами из Волжского бассейна. Показано, что рыбы из Каспийского и Балтийского бассейнов характеризуются низкой степенью морфологической и генетической гетерогенности и принадлежат к одному широкоареальному виду. Неоднократное заселение новых послеледниковых территорий Восточной Европы не привело к взрыву видообразования, в отличие от такового в Западной Европе, где было описано 16 видов. Особое место в фауне коттоидных рыб занимает исследование эндемичного букета видов (*species flocks*) озера Байкал. Эта группа характеризуется необычайным для коттоидных рыб морфологическим, экологическим и таксономическим разнообразием (33 вида, 11 родов и 3 семейства). При этом генетические дистанции (гены митохондриальной ДНК) между морфологически дифференцированными, репродуктивно изолированными видами незначительны и составляют менее 1%. Этот феномен существенно отличает байкальские виды от всех других пресноводных коттоидных рыб. В последние годы изучение байкальских рыб происходило в рамках международных российско-японских исследований.

В рамках темы «Биологические ресурсы» изучены 22 вида ресурсных рыб озера Байкал – участка мирового наследия ЮНЕСКО, что накладывает ограничения на использование биологических ресурсов этого уникального водоема. Ретроспективный анализ использования 22 ресурсных видов, включая интродуцированные, показал, что в настоящее время используются промыслом 10 видов; ограниченно используются в качестве прилова 3–4 вида; утратили свое ресурсное значение 9 видов, из них 3 вида имеют статус охраняемых. На протяжении 200 лет доминирующим ресурсным видом остается байкальский омуль, но его доля в промысле имеет стойкую тенденцию к уменьшению. Результаты исследований содержатся в монографии: «Ресурсные рыбы озера Байкал», которая опубликована в 2020 г.

Госзадание АААА-А17-117030310197-7.

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАБОРАТОРИИ СИСТЕМАТИКИ НАСЕКОМЫХ В 2019 Г.**

**С.Ю. Синёв**

Научные исследования лаборатории систематики насекомых в 2019 г. осуществлялись в рамках государственных заданий по трем основным направлениям: 1) таксономическое разнообразие основных отрядов насекомых и его зоогеографический и эколого-фаунистический анализ; 2) экофизиологические и морфологические адаптации насекомых в контексте общего биоразнообразия; 3) сравнительная цитогенетика, кариосистематика и молекулярно-генетические исследования в изучении формирования таксономического разнообразия и экологических адаптаций животных. Кроме того, проводили исследования по проектам, поддержанным Российским фондом фундаментальных исследований и Российским научным фондом (всего 11 грантов).

По «таксономическому» направлению с использованием самых современных методов морфологического и молекулярно-генетического анализа осуществлены ревизии отдельных родов, триб и подсемейств из всех крупных отрядов насекомых и внесены многочисленные дополнения в состав ряда локальных и региональных фаун Палеарктической, Афротропической, Ориентальной и Неотропической областей. Существенно расширены представления об общем распространении, границах ареалов, ландшафтно-биотопической приуроченности и трофических связях многих видов. Опубликованы фундаментальные сводки по насекомым отечественной фауны: первое издание каталога паразитических перепончатокрылых России (более 10.5 тысяч видов из 43 семейств); второе, существенно переработанное издание каталога чешуекрылых России (почти 10 тысяч видов из 97 семейств), а также иллюстрированный каталог ос-блестянок фауны России. Всего в результате проведенных исследований описано более 150 новых для науки видов и подвидов и более 50 таксонов надвидового ранга, предложены многочисленные новые таксономические решения.

По «морфологическому» направлению изучали адаптации личинок и имаго двукрылых, жесткокрылых и сетчатокрылых насекомых, связанные с освоением разнообразных сред обитания, и обусловленные этим закономерности биотопической приуроченности и географического распространения. Получены новые данные о составе и границах ряда локальных и региональных фаун насекомых, о морфологии и биологии

отдельных видов, имеющих важное хозяйственное значение, а также об инвазиях в новые местообитания. Издано методическое пособие по использованию ГИС-технологий в картографировании.

По «молекулярно-генетическому» направлению изучены кариотипы, теломерные последовательности ДНК и локализация 18S rDNA в хромосомах 44 видов из 7 отрядов насекомых. На основе комплексного использования морфологических, хромосомных и молекулярных маркеров проведена таксономическая ревизия нескольких таксонов псиллид и бабочек, в ряде высших таксонов выявлены монофилетические группы и протестированы направления и механизмы эволюции их геномов. На основе изучения представителей разных групп рассмотрены явления партеногенеза, полиплоидии и митохондриальной интрогрессии. Сделан обзор достижений и проблем в области делимитации видов и криптического видового разнообразия с использованием молекулярных маркеров.

Полученные сотрудниками лаборатории систематики насекомых результаты опубликованы в 3 монографиях и более чем 140 статьях в рецензируемых научных журналах, большинство которых входит в системы цитирования Web of Science и Scopus.

Источниками финансирования проведенных исследований были госзадания АААА-А19-119020690101-6, АААА-А19-119020690082-8 и АААА-А19-119020790106-0, гранты РФФИ 17-04-00754, 17-04-00828, 18-04-00065, 18-04-00243, 18-04-00354, 18-34-00099, 19-04-00027, 19-04-00565, 19-34-50027, 19-54-18002 и грант РНФ 19-14-00202.

## **ОБ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ ПЕРЕДАЧИ ЗООЛОГИЧЕСКОМУ МУЗЕЮ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ КОЛЛЕКЦИИ БАБОЧЕК ВЕЛИКОГО КНЯЗЯ НИКОЛАЯ МИХАЙЛОВИЧА**

**Н.В. Слепкова**

В 2019 г. исполнилось 160 лет со дня рождения и 100 лет со дня гибели великого князя Николая Михайловича Романова (1859–1919), пожертвовавшего Зоологическому музею Императорской академии наук (ИАН) крупнейшую частную коллекцию бабочек, которую великий князь собирал в течение 26 лет. В работе рассмотрены обстоятельства передачи этой коллекции Зоологическому музею, происходившей в 1899–1900 гг. Некоторые материалы по этой передаче были подобраны к выставке «Династия Романовых и Зоологический музей Импера-

торской академии наук». Информация о ней публиковалась (Слепкова, 2013а, б; 2015), однако все обстоятельства и условия, на которых коллекция была пожертвована музею, до сих пор не рассматривались. В основу исследования были положены сведения из протоколов заседаний Физико-математического отделения ИАН и из фондов Российского государственного исторического архива (Фонд управления делами великого князя Николая Михайловича) и ряда других источников.

Великий князь Николай Михайлович, сын наместника Кавказа, провел детство среди буйной природы этих мест и увлекся энтомологией с юных лет. Он начал коллекционировать бабочек в 1873 г., выступая в качестве как организатора сбора этой коллекции, так и ее исследователя. Коллекция Николая Михайловича, состоявшая из 110 210 экз., поступила в музей в 1900 г. на специально оговоренных условиях, на выполнение которых ушел почти год. Передача была инициирована 17 февраля 1899 г., о чем в заседании Физико-математического отделения (ФМО) ИАН был зачитан рескрипт на имя великого князя Константина Константиновича, возглавлявшего в этот период Академию. Перенесена же в Зоологический музей коллекция была 10 февраля 1900 г. Условия, выдвинутые жертвователем, были следующими. Коллекция должна была сохранить имя жертвователя; при ней (ввиду ее обширности) должен был находиться особый хранитель; она должна была оставаться неприкосновенной и без пополнений, кроме могущих поступить видов из пределов Российской империи; она должна была быть доступна для работ ученых и специалистов, интересующихся этой отраслью. Два требования были добавлены чуть позже. Коллекцию следовало хранить в тех же шкафах, что были у великого князя. Хранителем должен был быть оставлен Отто Герц – один из хранителей, работавший в этом качестве у великого князя, с предоставлением ему должности старшего зоолога и с зачетом времени работы у великого князя при назначении пенсии. Требование о зачислении Герца вызвало больше всего затруднений, поскольку он не имел высшего образования, необходимого для получения должности старшего зоолога академического музея. Для его устройства на это место потребовались ходатайства и Академии наук, и самого великого князя в разные инстанции. Их результатом стало решение об учреждении дополнительной ставки старшего зоолога и о зачислении на нее Герца в обход требований «Положения о Музее» 1895 г. В ведении великого князя коллекция сохранялась тремя хранителями, но тогдашний директор музея академик В.В. Заленский полагал возможным для государственного учреждения ходатайствовать только об



одном месте старшего зоолога. Об учреждении для О.Ф. Герца должности четвертого старшего зоолога было сообщено в заседании ФМО от 1 декабря 1899 г. Экспедиционный опыт Герца помог музею вскоре организовать и провести успешную экспедицию за Березовским мамонтом.

В работе затрагивается также вопрос о том, что представлял собой Зоологический музей в тот момент, когда обсуждалась и состоялась передача коллекции. Это был последний год, предшествовавший открытию музея в новом здании у Дворцового моста. Переезд музея и расширение его площадей, по-видимому, стало одним из стимулов для великого князя Николая Михайловича к передаче коллекции музею.

Номер темы: АААА-А17-117030310208-0

## **РЕСТАВРАЦИЯ В ЗООЛОГИЧЕСКОМ МУЗЕЕ**

### **Ю.В. Стариков**

За отчетный период в нашем музее было воссоздано «Отделение реставрации» под руководством ст. таксидермиста, реставратора высшей категории Ю.В. Старикова, куда вошли дизайнер М.Е. Колесникова, 2 реставратора естественноисторических предметов – Д.В. Дедов, А.А. Григорьев и реставратор по металлу И.А. Коротков. Ранее, в начале XX в., в штате музея числились реставраторы. За прошедший год проведена реставрация 2 панно («Эволюция млекопитающих», «Эволюция животного мира»), памятника К.М. Бэру (М.Е. Колесникова), 84 экспонатов млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий и насекомых (Д.В. Дедов, А.А. Григорьев, Ю.В. Стариков), 3 музейных витрин начала XIX в. (И.А. Коротков). Д.В. Дедов и А.А. Григорьев прошли стажировки по реставрации естественноисторических предметов зоологической группы и курсы повышения квалификации для начинающих реставраторов. По результатам их работ были подготовлены реставрационные паспорта, представлены документы в Министерство культуры РФ на рассмотрение государственной комиссии по аттестации реставраторов. Студенту III курса кафедры кинофотоискусства СПб Государственного института культуры В.С. Филичкину оказана помощь в выполнении курсовой работы по съёмке документального короткометражного фильма о реставрации естественноисторических предметов «Белая ворона реставрации», за что он получил на зачетном конкурсе первое место. Руководитель

отделения по результатам конкурса «Реставраторы 2019 года» награжден золотой медалью «Почетный реставратор Санкт-Петербурга I степени» и премией правительства Санкт-Петербурга «За вклад в развитие реставрационной отрасли в Санкт-Петербурге».

Наибольший интерес представляет работа по реставрации скелета морской (Стеллеровой) коровы *Hydrodamalis gigas* для Музея Мирового океана (Калининград). Материал поступил в лабораторию экспериментальной таксидермии в начале 2019 г.: поврежденный череп из 12 фрагментов без нижней челюсти, 19 грудных позвонков, 27 ребер и 2 поясничных позвонка. Кости внутреннего уха имели очень хорошую сохранность и были переданы для генетического и хронологического анализа в НИЦ «Курчатовский институт». Результаты исследований сданы в печать. В начале работы для укрепления костей весь остеологический материал был пропитан 10% спиртовым раствором поливинил-бутирали. Реставрирован череп, 7 ребер и 2 позвонка. Используя фондовый материал, изготовлены 51 копия костей и 69 муляжей утраченных элементов скелета. Строение запястья у морских коров до сих пор подробно не описано. Г. Стеллер указывал, что кости дистальной части конечности срослись, однако на основании фотографий с места последней находки 2017 г. на о. Беринга почти целого скелета морской коровы стало возможным достоверно изготовить муляжи костей запястья. Хорошо различимые на изображении, они (в отличие от общепринятого мнения) не сросшиеся, а представляют набор отдельных костей, что подтверждают и палеонтологические находки предков морской коровы. В связи с этим можно предположить, что и фаланги пальцев не срастались, и их муляжи могут выглядеть аналогично фалангам ламантина. Копии изготовлены методом формовки с помощью гипса и альгината. В сложных случаях (шейные и поясничные позвонки) формы состояли из нескольких фрагментов. При отливке первый слой в форме наносили полиэфирной шпатлевкой, далее в собранную форму заливали двухкомпонентный пенополиуретан. Готовые копии зачищали, по необходимости наносили фактурный рельеф и далее тонировали акриловой краской. Для устранения дисбаланса при монтаже в копии костей с левой стороны врезаны металлические утяжелители. Скелет собран на скрытом металлическом каркасе, за исключением ребер, которые дополнительно закреплены трубчатыми распорками. Длина – 6.7 м, вес – 470 кг, подвешен на 6 растяжках. Проведены демонтаж, упаковка и отправка материала заказчику. Завершающий этап (монтаж

скелета морской коровы в экспозиции Музея Мирового океана) не состоялся в связи с задержкой строительства музейного корпуса.

Выполнены 2 хоздоговора для Музея Мирового океана. Работы финансировались заказчиком.

## **РЕГЕНЕРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ У АННЕЛИД: ОТ МОРФОЛОГИИ К МОЛЕКУЛАМ И ОБРАТНО**

**В.В. Старунов**

Кольчатые черви крайне разнообразны в отношении своих регенерационных возможностей. Почти все полихеты способны восстанавливать задний конец тела, в то время как к регенерации головного конца способна только часть представителей данного таксона. Ряд полихет, способных к передней регенерации, восстанавливает на головном конце лишь определенное число сегментов, которое часто соответствует числу сегментов личинки. Целью данной работы является сравнительное исследование регенерационных процессов у аннелид. В качестве модельного объекта нами был выбран представитель семейства Spionidae, *Pygospio elegans* Claparède, 1863. Работа велась по двум основным направлениям: 1. Исследование морфологических аспектов регенерации *P. elegans*. Изучены как общий ход регенерационного процесса с помощью сканирующего электронного микроскопа, так и регенерация мускулатуры и катехоламинергической нервной системы с использованием методов конфокальной микроскопии. 2. Сравнительный анализ экспрессии генов в ходе регенерации *P. elegans*, способного к регенерации как переднего, так и заднего концов тела, и *Platynereis dumerilii*, представителя семейства Nereididae, регенерирующего лишь задний конец тела, но не восстанавливающего головной. Для обоих видов были выбраны одинаковые временные точки: 4, 12, 24, 48 и 96 часов после операции, а также 7 дней после операции. Все эксперименты проводили при температуре 18 °С.

На ранних этапах и передней, и задней регенерации *P. elegans* происходят сходные процессы. Сразу после операции сокращаются поперечные мышцы в области повреждения, что минимизирует раневую поверхность. В первые сутки происходит затягивание раны раневым эпителием, затем начинает формироваться бластема, которая становится хорошо заметна к 48 часам. В это же время происходит разборка поврежденных мышечных волокон и начинает формироваться

новая мускулатура регенерата. Через 48 часов после ампутации проявляются единичные катехоламин-позитивные клетки в переднем и заднем регенератах. После этого начинаются органогенезы: сзади формируется пигидий и практически сразу активируется зона роста, продуцирующая новые сегменты. Спереди формируется голова и грудной отдел с 12 сегментами, которые закладываются практически одновременно. Количество катехоламин-позитивных клеток постепенно увеличивается, а также начинается восстановление стволов брюшной нервной цепочки. Мускулатура переднего регенерата развивается с запозданием относительно заднего. Полное восстановление мускулатуры наблюдается лишь через 7 дней после операции. Восстановление же катехоламинергической системы завершается лишь через две недели после операции.

Для сравнительного анализа дифференциальной экспрессии генов нами были проанализированы транскриптомы переднего и заднего регенератов *P. dumerilii* и *P. elegans* на различных этапах регенерационного процесса. Полученные результаты позволили нам не только определить молекулярные различия как между временными точками, так и между регенератами, но и выявить согласованную экспрессию многих генов. Проводимый в настоящий момент сравнительный анализ между близкими видами позволит приблизиться к более полному пониманию молекулярных основ регенерации. Полученные данные также будут использованы в дальнейшей работе для анализа пространственно-временной экспрессии отдельных ключевых групп генов и сигнальных каскадов, принимающих участие в процессах репарации, формировании позиционной информации, а также в отдельных морфогенезах.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № АААА-А19-119020690076-7. Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Таксон».

## **ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ «ПАРАДОКСА ХАОСА» В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ**

**И.В. Телеш**

Хаотическая динамика отдельных компонентов сложных систем – широко распространенное явление в биологических, физических, химических, социальных и других глобальных системах. Однако благодаря слабой изученности и непредсказуемости хаотической

динамики ее результаты часто не согласуются с общепринятыми причинно-следственными взаимодействиями и объясняющими их концепциями, которые составляют основу устоявшихся представлений о функционировании систем.

Примеры экспериментальной демонстрации хаотического поведения элементов экологических систем очень редки. Математическое моделирование показывает, что в зависимости от силы регулирующих механизмов взаимодействия между живыми организмами могут вызывать сложную, хаотическую динамику их популяций, которая крайне чувствительна к исходным условиям окружающей среды – так называемый «эффект бабочки» (Lorenz, 1963), который детально описан в теории хаоса (May, 1974, 1976; Huisman et al., 2006). Такую динамику обычно оценивают методом расчета экспоненты Ляпунова.

Дебаты о хаотическом поведении природных сообществ интенсифицировались в начале XXI века, после того как были опубликованы данные о выявлении признаков хаоса в относительно крупных экспериментальных и природных водных экосистемах: например, в долгосрочной динамике зоопланктона в одиночном мезокосме (Benincà et al., 2008) и в масштабе целого озера (Medvinsky et al., 2015). В результате были получены убедительные аргументы в пользу возможности хаотического поведения планктонных сообществ, состоящих из относительно небольшого числа видов. Однако оставалось неясным, возможен ли хаос в реплицированных многокомпонентных ассоциациях планктона, а также в системах со стабильными абиотическими показателями? И если возможен, то что стимулирует возникновение хаотической динамики в отсутствие внешних триггеров?

Для решения этих вопросов был выполнен продолжительный (1 год) лабораторный эксперимент со сложным планктонным сообществом в четырех идентичных мезокосмах в строго контролируемых, одинаковых, стабильных физико-химических условиях среды. В опыте поддерживали постоянную освещенность, pH, температуру и соленость воды. Дважды в неделю измеряли концентрацию биогенных веществ: ортофосфата, нитрата, нитрита, аммония, общего азота и общего фосфора в сестоне и др. Пробы микроорганизмов, фито- и зоопланктона брали также с интервалом 3.5 дня в течение года. Материалы анализировали стандартными лабораторными и статистическими методами. Исходный планктон состоял из бактерий, одноклеточных пикоцианобактерий, колониальных цианобактерий, жгутиконосцев,

солнечников, раковинных амеб, инфузорий, коловраток, ветвистых и веслоногих ракообразных из прибрежных вод южной части Балтийского моря. Это сообщество в каждом мезокосме формировало четыре трофических уровня: первичные продуценты, первичные и вторичные консументы, деструкторы.

В результате эксперимента было впервые обнаружено природное явление парадокса хаоса, когда при стабильных абиотических характеристиках внешней среды биотические взаимодействия в сообществе одновременно выступали в роли внутренних триггеров и драйверов хаотической динамики планктона. Эпизоды хаоса были выявлены на всех трофических уровнях сообщества. Разработан интегральный индикатор хаоса – новый метод оценки комплексной динамики и проверки достоверности расчетов экспоненты Ляпунова (Telesh et al., 2019; <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56851-8>).

Работа поддержана грантами РФФИ (19-04-00217\_a; рук. И.В. Телеш), РНФ (19-14-00109; рук. С.О. Скарлато) и гостевой АААА-А19-119020690091-0 (ЗИН РАН).

## **НАУЧНЫЕ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ РАБОТЫ ЗООЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ**

**А.Н. Тихонов**

Зоологический музей является лабораторией Зоологического института. К штату музея относятся кураторы, главный хранитель, таксидермисты, художник, экскурсоводы (в т.ч. методист и организатор экскурсий), администратор, служители и др. – всего 35 человек. Силами этого коллектива проводятся работы по сохранению и развитию музея, собственно экспозиционная деятельность, а также научные и специальные музейные исследования. В обычное время музей принимает около 340 тыс. посетителей и проводит 4 800 экскурсий в год, но в 2020 г. эти цифры существенно уменьшились ввиду коронавирусной пандемии. Экскурсии проводят на высоком уровне, по различной тематике и формату; нередко их проводят кураторы музея. Ежегодно в музее проводится не менее десяти благотворительных экскурсий.

Сотрудники музея ведут научную работу по установлению таксономического статуса экспонируемых экземпляров с привлечением современных методов исследований. Ежегодно выполняются необходимые операции по хранению, переопределению и реставрации экспонатов.

Музей ведет экспертную деятельность, имея в своем составе сотрудников, проводящих экспертизы по официальным запросам государственных органов и отдельных граждан. Только за 2019–2020 гг. было проведено не менее 50 экспертиз. Кураторы также ведут научную деятельность по своей зоологической специализации; за 2018–2019 годы ими были опубликованы 1 монография и 6 глав в различных монографиях, 37 статей, сделаны 8 докладов на конференциях разного уровня. За этот же период сотрудники музея приняли участие в 9 экспедициях, сборы которых пополнили фондовую коллекцию института.

Научно-исследовательская деятельность музея включает в себя и «museum study»: изучение истории музейных коллекций и экспозиций, отдельных экспонатов и сборов важнейших экспедиций. В последнее время опубликован ряд материалов по истории музея и института в XX веке (1914–1930 гг.), по истории нашего здания, а также о происхождении экспонатов орнитологической коллекции. Результаты работ были представлены на конференциях и семинарах в честь памятных дат (100-летие Первой всероссийской конференции по делам музеев, 300-летие открытия первой общедоступной экспозиции Кунсткамеры в здании Кикиных палат, 250-летие «физических» экспедиций Академии наук, 190-летия Первой мануфактурной выставки и др.). История института и музея неоднократно освещалась на международном уровне на конференциях в Лондоне, Афинах, Вильнюсе, Болонье. Музей работает над вопросами, относящимися к сфере музеологии, принимает участие в конференциях соответствующей тематики, участвует в подготовке и аттестации кадров кафедры музееведения Института истории СПбГУ.

Одной из наиболее значимых работ музея является организация временных выставок на своей территории, в России и за рубежом. Так, в 2019 г. были организованы пять выставок в стенах музея, одна выставка – на территории РФ и одна – за границей. Зарубежные выставки в последнее десятилетие прошли в Австрии, Израиле, Японии. Музей ведет издательскую деятельность. В 2020 г. вышел в свет новый музейный буклет, подготовленный Н.В. Слепковой. На сайте института размещен видеотур по музею и его отдельным залам. Схема экспозиции музея тиражируется на двух языках для бесплатной раздачи. Информация в Интернете, на сайте института и в печатных СМИ позволяет довести до широких кругов общественности новости музея и анонсы планируемых мероприятий. В период вынужденной изоляции из-за пандемии созданы и размещены на сайте видеолекции по военной истории музея и института, а также истории нашего здания.

Силами таксидермической группы проводятся проектирование и создание новых экспонатов и биогрупп в экспозиции музея, а также реставрация старинных экземпляров. В 2020 г. закончена работа над новой биогруппой «Весенний ручей», создана витрина с муляжами пресмыкающихся Юго-Восточной Азии. В течение последнего года в нашем музее были отреставрированы панно по эволюции млекопитающих, схема развития жизни в первом зале музея и памятник К. Бэру. В рамках сотрудничества с внешними организациями проводятся реставрационные работы в других музеях и создание уникальных экспонатов для их коллекций (копия мамонтенка Любы, чучело мамонта Жени, скелет морской коровы).

Работы проводили в рамках темы «Мониторинг зоологических коллекций музея ЗИН РАН»: АААА-А17-117030310208-0.

**БЕЛОМОРСКАЯ МИДИЯ *MYTILUS EDULIS* L.  
КАК ИНЖЕНЕРНЫЙ ВИД. СООТНОШЕНИЕ ЭФФЕКТОВ  
«ФИЗИЧЕСКОГО» И «ЖИВОГО»**

**В.В. Халаман, А.Ю. Комендантов**

В современных экологических исследованиях большое внимание уделяется тому, как инженерные виды модифицируют окружающую среду и тем самым оказывают влияние на формирующиеся сообщества живых организмов. В морских эпибентосных сообществах такими видами – эдификаторами служат различные массовые прикрепленные организмы: двусторчатые моллюски, губки, асцидии, седентарные полихеты, водоросли, гидроиды и кораллы. Их воздействие на ассоциированные виды можно условно разделить на две составляющие: «физическую» и «живую». Физическая заключается в увеличении пространственной сложности среды, которая может быть достигнута с помощью неживых объектов той же величины и формы. Живая составляющая – результат физиологической деятельности инженерных видов: вододвигательная, фильтрационная и седиментационная активности, выделение РОВ, БАВ и т.д. Однако во многих работах эффект «живого» не вычленяется из эффекта «физического», либо признается несущественным (Myers & Southgate, 1980; Dean, 1981; Crooks & Khim 1999; Lee et al., 2001; Kelaher, 2002; Abdo, 2007; Palomo et al., 2007 и др.).



Посредством полевого эксперимента мы попытались оценить соотношение между эффектами «физического» и «живого». В качестве модельного биологического объекта были использованы друзы живых беломорских мидий *Mytilus edulis* L. и имитации друз, изготовленных из пустых створок этих моллюсков. Живые друзы и их имитации на керамических пластинах экспонировали в море без контакта с грунтом на глубине 3 м в течение трех месяцев. Контролем служили керамические пластины, не несшие каких-либо конструкций. Было оценено влияние живых друз и их имитаций на различные комплексы ассоциированных организмов: вагильную фауну, седентарную фауну и водоросли. Оказалось, что указанные экологические группы по-разному реагируют на живых моллюсков и их неживые аналоги, однако эффект «живого» заметен в любом случае и может в три раза превосходить эффект «физического». Таким образом, по крайней мере в ситуации с таким инженерным видом как *M. edulis*, пренебрегать его биологической активностью при оценке влияния на сообщество ассоциированных организмов не представляется возможным.

Работа выполнена согласно гос. заданию № АААА-А19-119022690122-5 и при поддержке гранта РФФИ № 18-04-00062а.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОРТИКОСТЕРОНОВЫХ ИМПЛАНТОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИГРАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ПТИЦ**

**А.Л. Цвей, И.В. Демина, Ю.А. Лощагина**

Перед началом миграции у птиц развивается миграционное состояние – комплекс поведенческих и физиологических адаптаций, позволяющих птицам успешно совершить перелет (Дольник, 1975; Berthold, 1975). Основными компонентами миграционного состояния являются гиперфагия (увеличенное потребление корма) и миграционное ожирение, изменение суточного ритма активности и появление ориентации локомоторной активности в направлении цели миграции. В последние два десятилетия интенсивно изучается роль глюкокортикоидного гормона кортикостерона в регуляции отдельных компонентов миграционного состояния (Wingfield et al., 1990; Landys et al., 2006; Cornelius et al., 2013; Eikenaar, 2017; Tsvey et al., 2019). Считается, что кортикостерон стимулирует локомоторную активность, и его концентрация увеличивается непосредственно перед миграционным полетом. Роль кортикостерона в регуляции гиперфагии и ожирения менее очевидна. Трудность

интерпретации данных заключается в том, что большинство исследований являются коррелятивными, связывающими изменения экспрессии конкретного поведения с изменениями концентрации кортикостерона. При этом остается не ясно, регулирует ли данный гормон исследуемое поведение, либо параллельно меняется вместе с поведением. Возможным способом показать причинно-следственную связь является изменение (увеличение, либо уменьшение) секреции/или концентрации гормона в крови и оценка изменений в поведении. Однако большинство существующих методов не позволяют изменять концентрацию гормонов на достаточно длительный срок и в пределах естественной вариации их концентрации.

В данном докладе мы приводим результаты валидации имплантов содержащих кортикостерон для изучения миграционного поведения европейской зарянки (*Erithacus rubecula*) – мелкой воробьиной птицы, ночного мигранта. На основе литературных данных (Quispe et al., 2015; Beck et al., 2016) мы изготовили импланты, состоящие на 90% из пчелиного воска и 10% арахисового масла и содержащие 0.35 мкг кортикостерона. Целью исследования было изучить амплитуду и динамику изменения концентрации кортикостерона в плазме крови в течение 12 дней после имплантации. Всего были имплантированы 16 птиц: восемь особей, экспериментальная группа – имплантами, содержащими кортикостерон, и восемь контрольных зарянок – имплантами без кортикостерона. У контрольной группы концентрация кортикостерона в плазме незначительно снижалась в течение эксперимента. У экспериментальных зарянок концентрация кортикостерона увеличивалась в первые три дня после имплантации с пиком, достигающим 52 нг/мл в первый день. Начиная с четвертого дня, концентрация кортикостерона не отличалась между группами.

Таким образом, наши результаты впервые в мире показали, что импланты на основе пчелиного воска могут изменять концентрацию кортикостерона в плазме крови птиц, находящихся в миграционном состоянии, в течение достаточно длительного времени (дни) и в пределах естественной вариации концентрации этого гормона. Это открывает новые возможности для изучения роли кортикостерона (и других гормонов) в регуляции миграционного поведения в природных и экспериментальных условиях.

Работа выполнена в рамках темы госзадания АААА-А19-119021190073-8 и поддержана грантом РФФИ 19-04-01219-а.

**ЛИЧИНКИ *LIMNOCHARES AQUATICA* (L., 1758)  
(ACARIFORMES, PARASITENGONA, LIMNOCHARIDAE)  
И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПАРАЗИТИЗМА**

**А.Б. Шатров, Е.В. Солдатенко**

Тонкие аспекты взаимоотношений в системе «паразит–хозяин» являются краеугольной проблемой сравнительной паразитологии. Паразитенгоны (Parasitengona) – огромная группировка высших акарiformных клещей, обладающих сложным жизненным циклом с чередованием активных и покоящихся стадий и населяющих разнообразные наземные и водные биотопы. Гетероморфные личинки – паразиты позвоночных животных и членистоногих и при питании развивают в покровах хозяев особую трубчатую структуру – стилостом (Shatrov, 2009) для эффективного поглощения пищевого субстрата. Личинки могут служить не только переносчиками возбудителей болезней (Ewing 1944; Traub and Wisseman 1974; Kawamura et al. 1995), но и являться агентами биологического контроля (Welbourn 1983, Zhang 1998). Активные постларвальные стадии – дейтонимфы и взрослые формы – свободноживущие хищники.

Водяной клещ *Limnochares aquatica* (L., 1758) относится к низшим гидрахнидиям семейства Limnocharidae с голарктическим распространением. Он отличается крупными размерами, мягкими покровами и дополнительными линьками на дейтонимфальной и взрослой стадиях развития. Личинки – паразиты околотовных насекомых, в частности водомерок *Gerris lacustris* (L., 1758), и ведут полуводный образ жизни: вылупляясь из кладок в воде они затем выходят на поверхность, чтобы прикрепиться к прокормителю – водомерке. Личинки питаются в первой половине летнего сезона, и при массовом паразитировании число одновременно питающихся клещей на отдельно взятой водомерке достигает 30 особей. Время питания составляет до двух недель.

Личинки *L. aquatica* и формируемый ими стилостом были впервые изучены с помощью SEM и TEM методов. Стилостом имеет атипичное строение. При нападении на хозяина личинка не прорезает крайне толстую (до 20 мкм) кутикулу водомерки, т.е. сквозная перфорация покровов, как это имеет место в случае питания ряда других паразитенгон, не происходит. Наоборот, личинка выделяет на поверхность кутикулы хозяина каплю очевидно первоначально вязкого

секрета, к которому прочно приклеиваются режущие пальцы хелицер паразита. Далее прекурсоры стилостома проникают в пространство гемоцеля (полость тела) хозяина сквозь кутикулу через поровые каналы. В дальнейшем первичный секрет увеличивается в своей массе и прободает кутикулу насквозь, формируя непосредственную связь стилостома и предротовой полости личинки. Одновременно с этим под кутикулой прокормителя формируется зона поражения с разрушением эпидермиса и образованием разветвленной электронно-плотной однородной губчатой массы, пронизанной в разных направлениях круглыми в сечении каналами. Эти каналы лишены какой-либо внутренней выстилки, а их направление и конфигурация совершенно произвольны. Такого вида стилостом не проникает глубоко в полость тела прокормителя, как, например, у некоторых тромбидид, а остается расположенным в непосредственной близости к кутикуле водомерки в периферической полости тела. Тем не менее очевидно, что поглощение питательных веществ из тела хозяина происходит именно через каналы стилостома.

Если допустить, что определенная примитивность лимнохарид распространяется на все аспекты их морфологии и жизнедеятельности, то следует признать, что и сам стилостом еще не получил завершеного морфологического выражения, а переход личинок к паразитизму мог осуществиться в относительно недавней исторической ретроспективе.

Данная работа выполнена на оборудовании ЦКП «Таксон» – SEM (Quanta 250) и ТЕМ (Morgagni 268D) и поддержана грантом РФФИ по проекту № 18-04-00075-а, а также госзаданиями №№ АААА-А19-119020790133-6 и АААА-А19-119020690072-9.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Н.И. Абрамсон.</i> Основные результаты работы отделения молекулярной систематики млекопитающих 2019 г. . . . .	3
<i>А.О. Аверьянов.</i> Основные результаты работы лаборатории териологии в 2019 г. . . . .	5
<i>Н.В. Аладин, В.И. Гонтарь, Л.В. Жакова, И.С. Плотников, А.О. Смуров.</i> Систематизация биоразнообразия солёных озёр и неполносолённых внутренних морей в зоне критической солёности . . . . .	7
<i>Н.Б. Ананьева.</i> Исследования лаборатории орнитологии и герпетологии – результаты и перспективы . . . . .	8
<i>Н.А. Березина.</i> Изучение механизмов влияния антропогенных факторов на репродуктивные показатели амфипод . . . . .	10
<i>О.В. Бондарева, Т.В. Петрова, С.Ю. Бодров, Е.А. Генельт-Яновский, Н.И. Абрамсон.</i> Следы отбора в митохондриальном геноме при адаптации к подземному образу жизни на примере представителей подсемейства полевоочьих (Arvicolinae, Cricetidae, Rodentia) . . . . .	11
<i>Л.Л. Войта.</i> Компьютерная микротомография в систематике и филогении землероек (Lipotyphla: Soricidae) . . . . .	13
<i>К.В. Галактионов.</i> Лаборатория по изучению паразитических червей и протистов – что делаем и что хотим сделать . . . . .	14
<i>В.М. Гнездилов, Ф.В. Константинов, С.Ю. Бодров и О.В. Бондарева.</i> Филогения и систематика семейства Issidae (Hemiptera, Auchenorrhyncha, Fulgoroidea) по результатам анализа геномной ДНК . . . . .	16
<i>С.М. Голубков.</i> Лаборатория пресноводной и экспериментальной гидробиологии: направления, итоги и перспективы исследований . . . . .	17
<i>О.В. Зайцева.</i> Исследование особенностей и общих эволюционных закономерностей развития нервной, мышечной и половой систем Acoelomorpha и Lophotrochozoa, этап 2019–2020 гг. . . . .	19
<i>Н.Ю. Иванова.</i> Аконтии и их значение для систематики актиний на примере <i>Haliactis arctica</i> Carlgren, 1921 (Anthozoa, Actiniaria, Haliactinidae) . . . . .	21
<i>С.А. Карпов.</i> Афелиды – паразитоиды или хищники? . . . . .	23
<i>Б.А. Коротяев, О.А. Аненхонов, Е.В. Софронова, А.П. Софронов, В.В. Чепинога.</i> Предварительные результаты изучения реликтовых сообществ с участием вяза японского на западной границе его ареала . . . . .	24
<i>А.А. Кудрявцев.</i> Лаборатория клеточной и молекулярной протистологии ЗИН РАН: синтез традиции и новых подходов в изучении одноклеточных эукариот. . . . .	26
<i>С.Г. Медведев.</i> Лаборатория по изучению паразитических членистоногих – основные достижения . . . . .	27

<i>А.А. Миролубов, А.Д. Лянгузова, М.А. Нестеренко, С.А. Илюткин, Н.Е. Лапшин.</i> Как корнеголовые ракообразные (Cirripedia: Rhizocephala) подчиняют своей воле хозяина? Что известно и перспективы исследований . . . . .	29
<i>А.Л. Мухин.</i> Контроль ночной активности у мигрирующих воробьиных птиц . . . . .	30
<i>А.Д. Наумов, О.Н. Савченко.</i> Беломорские ковшовые губы с глубоководной арктической фауной . . . . .	32
<i>И. Поздняков, А. Золотарёв.</i> Грибы и группа Holomycota: сколько раз возникал жизненный цикл . . . . .	33
<i>С.Я. Резник.</i> Лаборатория экспериментальной энтомологии: текущие исследования (по материалам публикаций 2018–2020 гг.) . . . . .	34
<i>В.Г. Сиделева.</i> Исследование пресноводных рыб в лаборатории ихтиологии . . . . .	36
<i>С.Ю. Синёв.</i> Основные направления научных исследований лаборатории систематики насекомых в 2019 г. . . . .	38
<i>Н.В. Слепкова.</i> Об обстоятельствах передачи Зоологическому музею в Санкт-Петербурге коллекции бабочек великого князя Николая Михайловича . . . . .	39
<i>Ю.В. Стариков.</i> Реставрация в Зоологическом музее. . . . .	41
<i>В.В. Старунов.</i> Регенерационные процессы у аннелид: от морфологии к молекулам и обратно . . . . .	43
<i>И.В. Телеш.</i> Первое обнаружение «парадокса хаоса» в водных экосистемах . . . . .	44
<i>А.Н. Тихонов.</i> Научные и научно-организационные работы Зоологического музея . . . . .	46
<i>В.В. Халаман, А.Ю. Комендантов.</i> Беломорская мидия <i>Mytilus edulis</i> L. как инженерный вид. Соотношение эффектов «физического» и «живого» . . . . .	48
<i>А.Л. Цвей, И.В. Демина, Ю.А. Лоцагина.</i> Применение кортикостероновых имплантов для изучения миграционного поведения птиц . . . . .	49
<i>А.Б. Шатров, Е.В. Солдатенко.</i> Личинки <i>Limnochares aquatica</i> (L., 1758) (Acariformes, Parasitengona, Limnocharidae) и особенности их паразитизма . . . . .	51

Составитель *И.В. Доронин*  
Редактор *Т.А. Асанович*  
Компьютерная верстка *Т.В. Дольник*

---

Подписано в печать 4.04.19. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Объем 3.25 п. л. Тираж 50 экз.

---

Зоологический институт РАН, 199034, СПб., Университетская наб., 1

**Для заметок**