

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 2023 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

9–11 апреля 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

ПЕРВАЯ НАХОДКА ЦЕРАТОЗАВРА (DINOSAURIA, THEROPODA, CERATOSAURIA) В РОССИИ

А.О. Аверьянов¹, П.П. Скучас^{1, 2}, Д.А. Слободин³, А.А. Атучин⁴,
О.А. Феофанова³, О.Н. Владимирова³, Д.В. Немирова³

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург,

²Санкт-Петербургский государственный университет,

³Кузбасский государственный краеведческий музей, Кемерово,

⁴Калгари, Канада

Богатый комплекс мезозойских позвоночных известен из нижне-меловых (аптских) отложений илекской свиты, вскрытых вдоль берега р. Кия близ д. Шестаково в Кемеровской области (Кузбасс, местонахождение Шестаково 1). Из динозавров здесь определены остатки завропод *Sibirotitan astrosacralis*, разнообразных хищных динозавров, стегозавров, анкилозавров и базальных цератопсий *Psittacosaurus sibiricus*. Большинство находок динозавров из Шестаково 1, кроме двух фрагментарных скелетов пситтакозавров, представляют собой изолированные и большей частью фрагментарные кости. В этой связи исключительный интерес представляет неполный скелет хищного динозавра, найденный на Шестаково 1 в августе 2023 г. Скелет заключен в блоке породы и частично отпрепарирован. Он включает шейный позвонок, хвостовые позвонки, скапулокораконд, плечевые кости, шейные рёбра и кости задних конечностей в сочленении. Теропод из Шестаково 1 может быть отнесен к цератозаврам семейства Noosauridae по комбинации следующих признаков: два отверстия пневматизации на теле шейных позвонков, постзигапофизы шейных позвонков соединены интразигапофизарной пластинкой, плечевая кость не скручена, с выпуклой головкой, бедренная кость короче большой берцовой, экстенсорная борозда бедренной кости неглубокая, медиальный надмыщелок бедренной кости фланцевидный, кнемияльный гребень большой берцовой кости длинный, на малой берцовой кости гребень для *m. iliofibularis* крупный, основная часть таранной кости расположена впереди большеберцовой кости, проксимальная ширина метатарзалии II меньше таковой метатарзалии III. Среди ноазаврид, шестаковский цератозавр морфологически наиболее близок к *Limusaurus inextricabilis* из верхней юры Джунгарии (Китай), от которого отличается большей редукцией метатарзалии II, отсутствием коракондного бугорка и одной роговой бороздой на когтевых фалангах стопы.

Особенности гистологического строения бедренной и большой берцовой костей шестаковского цератозавра (первичный кортекс образован исключительно однородной фибро-ламеллярной костью, отсутствие вторичного ремоделинга в кортексе, отсутствие внешней фундаментальной системы в периферической части кортекса, присутствие до трёх ростовых меток (линий остановок роста) в первичном кортексе и наличие тонкого слоя эндостелиальной кости свидетельствуют о том, что скелет принадлежал сравнительно молодому животному, которому на момент гибели было более трёх лет, но которое находилось в фазе активного роста.

Цератозавры представляют собой первую разнообразную и широко распространенную радиацию хищных динозавров. На южных континентах цератозавры были одной из доминирующих групп среди хищных динозавров и дожили до конца мелового периода, тогда как в Азии они были вытеснены в раннем мелу более прогрессивными группами теропод. Присутствие цератозавра в раннемеловой фауне Шестаково – еще одно свидетельство существования рефугиума для юрских реликтов в раннем мелу Западной Сибири.

ОЖИДАЕМЫЕ И НЕОЖИДАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОПЕПОД ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКВАЛАНГА

В.Р. Алексеев, Н.М. Сухих, О.А. Чабан

Иссык-Куль – высокогорное, слабо минерализованное озеро, расположенное в центральной части Киргизии в горной системе Тянь-Шаня. С гидробиологических позиций оно исследуется уже на протяжении около 100 лет. Несмотря на то, что с середины прошлого века здесь имеется исследовательская станция Академии наук, и в разные годы на водоеме работали такие выдающиеся исследователи как В.М. Рылов, Г.Г. Винберг, Н.А. Акатова, Л.А. Кутикова и другие, озеро традиционно считается водоемом обедненного видового состава по основным группам зоопланктона. В частности, количество видов веслоногих ракообразных, отмеченных в озере до начала наших исследований, составляло всего 7 видов. Несомненный интерес для зоогеографии, особенно с точки зрения гипотезы существования остатков фауны моря Паратетис, Иссык-Куль представляет в связи с наличием в его фауне видов, встречающихся как в Понтокаспийском

регионе, так и в водоемах Дальнего Востока. Среди копепод к их числу относятся *Onychocamptus mohammed* (Blanchard, Richard, 1891) и *Eurytemora composita* Keiser, 1929. Для сбора материала по этим двум видам и последующего изучения их географического распределения в водоемах вдоль предполагаемых рукавов моря Паратетис в августе 2023 г. была организована и проведена экспедиция, основным отличием которой от всех предыдущих исследований стало использование аквалангистов для сбора организмов придонных слоев озера, поскольку именно там, по аналогии с озером Байкал, и должно было находиться основное биоразнообразие ракообразных и моллюсков, недоступных традиционным методам сбора.

За короткий период вдоль всего побережья Иссык-Куля было проведено 7 погружений на глубины от 5 до 20 метров, и предварительные результаты обработки полученных проб позволили удвоить количество видов копепод, найденных в озере. Наряду с ожидаемыми видами, предположительно относящимися к фаунистическому комплексу Паратетис, в составе гидрофауны озера были встречены и другие представители этого комплекса, прежде всего маркерный вид *Eucyclops agiloides* ssp. *roseus* Ishida, 1997, распространение которого охватывает водоемы Дальнего Востока, Южной Европы и Северной Африки, а также Байкал и Каспийское море. К числу неожиданных находок, представляющих значительный научный интерес, следует отнести два инвазивных вида: *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1892) и *Mesocyclops pehpeiensis* Hu, 1943. Также интерес с зоогеографических позиций представляет находка *Diacyclops limnobius* Kiefer, 1978, описанного из водоемов Южной Германии и впоследствии найденного в Прикаспийском регионе и озерах Юго-Западной и Центральной Сибири. В интерстициальной фауне песчаных пляжей Иссык-Куля был обнаружен и представитель рода *Monchenkocyclops*. Все вышеперечисленные виды были собраны именно благодаря работе аквалангистов, поскольку чисто планктонные пробы мало отличались по своему составу от ранее известного списка копепод. Сравнение молекулярно-генетических параметров маркерных видов из озера Иссык-Куль с родственными популяциями из водоемов Юга Европы и Дальнего Востока указывает на их несомненное родство. Дальнейшие перспективы исследования фауны озера Иссык-Куль с фаунистической и зоогеографической точки зрения будут предметом дальнейшего обсуждения.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100274-7 с использованием материалов Уникальной фондовой коллекции ЗИН РАН.

РАЗВИТИЕ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ СПИОНИДЫ *MARENZELLERIA SP.*

Г.А. Бармасова, З.И. Старунова, К.В. Шунькина, В.В. Старунов

Род *Marenzelleria* – комплекс близкородственных видов седентарных аннелид из семейства Spionidae. Исходным ареалом видов этого рода является атлантическое побережье Северной Америки, однако во второй половине 20-го века началось их активное расселение по водам Европы и Азии. На сегодняшний день представители рода составляют неотъемлемую часть экосистем Белого, Баренцева и Балтийского морей, а также были описаны из Чёрного и Азовского морей (Radashevsky et al., 2022). Успешность инвазии *Marenzelleria* объясняется высокой толерантностью его видов к распреснению и колебаниям температуры.

Целью нашего исследования стало изучение развития нервной системы у неидентифицированного вида *Marenzelleria*, личинки которого были собраны планктонной сетью по южному берегу Финского залива с 2019 по 2023 гг. Исследование развития нервной системы проводили при помощи иммуногистохимического метода с использованием антител к тубулину, серотонину и FMRFамиду. Препараты изучали при помощи конфокального лазерного микроскопа Leica TCS SP5.

На стадии претрохофоры личинка покрыта вителлиновой оболочкой и способна к движению за счёт ресничек. Трохофора начинает активно питаться и уже лишена оболочки. В дальнейшем развитии выделяют стадии метатрохофоры и нектохеты. Затем происходит постепенное увеличение числа сегментов, и на стадии 18–20 сегментов ювенили оседают на грунт. Первые элементы нервной системы обнаруживаются на стадии претрохофоры, они представлены парой серотонин-положительных нейронов. FMRFамид-положительные элементы появляются на стадии трохофоры, формируя зачатки будущей вентральной нервной цепочки и надглоточного ганглия. У нектохеты обнаружены три пары серотонин-положительных клеток в надглоточном ганглии и парные стволы вентральной нервной цепочки, выявленные антителами к серотонину и FMRFамиду. На стадии 4–6 сегментной личинки были

обнаружены серотонин- и FMRFамид-положительные окологлоточные коннективы, стволы вентральной нервной цепочки с несколькими парами крупных тел нейронов, расположенными в центральной части тела личинки, а также сегментарные нервы, образование которых начинается с переднего конца тела личинки. Серотонин-положительные элементы также обнаруживаются в составе терминальной комиссуры, соединяющей стволы нервной цепочки на брюшной стороне. У 10-сегментных личинок формируются такие элементы периферической нервной системы, как серотонин-положительный дорсальный и циркумпигидиальный нервы, а также многочисленные FMRFамид-положительные структуры в простомиуме. У оседающих ювенилей присутствуют все элементы нервной системы, характерные для взрослых представителей семейства Spionidae.

Мы предполагаем, что серотонин и FMRFамид являются одними из первых нейромедиаторов, появляющихся в ходе развития центральной нервной системы *Marenzelleria*, в то время как в периферическом отделе нервной системы первыми синтезируются другие нейромедиаторы.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100281-5, с использованием материалов Уникальной фондовой коллекции ЗИН РАН и на оборудовании ЦКП «Таксон».

ВИДЫ: ИХ АВАТАРЫ, КАНДИДАТЫ И ПРИЗРАКИ

Л.Я. Боркин

Вид (species) является одним из ключевых понятий биологии, а возникновение видов – одной из центральных проблем эволюционной теории. В течение XX в. дважды произошла смена концепции вида. Первоначальный типологический подход, в центре которого были отдельные особи, сохранил свои следы в правилах зоологической номенклатуры (типы в видовой группе). Сменившая его в 1930–1940-е годы концепция биологического вида сделала упор на популяции и репродуктивную изоляцию. Господствующая ныне, благодаря кладизму, концепция рассматривает вид как отрезок филогенетического дерева (tree thinking). Современные молекулярно-генетические и компьютерные методы позволяют анализировать процессы, которые совсем недавно казались недостижимыми. К ним, например, относятся не только выявление пространственной структуры вида (филогеография) и процессов гибридизации

(интродукции), но и возможность заглянуть в историческое прошлое видов, оценить возраст их дивергенции и т.д. Одновременно возникли новые вопросы, связанные с видом и видообразованием.

1. Природные аватары (санскр. *avatāra*, нисхождение, воплощение, проявление; англ. *avatar*). В гибридогенном комплексе зелёных лягушек (*Pelophylax esculentus* complex) известны случаи, когда в популяционных системах попадаются единичные особи, имеющий фенотип одного из родительских видов. Например, в Чехии в популяции, состоящей из гибридной *Pelophylax esculentus*, была обнаружена особь, идентифицированная как озёрная лягушка, *Pelophylax ridibundus* (см. Mikulíček, Kotlík, 2001). Такие особи могут появляться в результате нескольких вариантов особого клонального наследования у гибридных особей. Поскольку вид состоит из популяций, т.е. из множества особей, то такие единичные выщепляющиеся особи никак не образуют популяцию. Более того, они имеют гибридное происхождение, что противоречит природе озёрной лягушки как вида. Поэтому я предлагаю называть такие особи *аватарами* тех видов, которых они напоминают. Можно отметить, что *вневидовые* особи встречаются в природе довольно часто. Это – межвидовые гибриды, которые, если им дают латинские названия, попадают в синонимику каждого из родительских видов.

2. Виды-лазары (Lazarus species). К этой группе можно будет отнести те вымершие виды, которые, надеюсь, будут восстановлены с помощью новых технологий клонирования. В настоящее время это – мамонт («мамофант»), шерстистый носорог, стеллерова корова, тасманийский волк, додо и другие. Поскольку они всё же вряд ли будут полностью соответствовать вымершим видам, то я предлагаю считать их синтетическими (клональными) аватарами. «Воскрешением» (аналогия с библейским Лазарем из Вифании, см. *Евангелие от Иоанна*, глава 11) исчезнувших видов занимаются не только научные учреждения, но и частные компании.

3. Виды-призраки (ghost species). «Призраками» предложено называть виды, которые в настоящее время не живут, однако их былое существование можно выявить с помощью молекулярно-генетических методов. Например, такой «призрак» был обнаружен на Аппенинском полуострове в ходе изучения гибридогенных комплексов местных зелёных лягушек (микросателлиты, секвенирование двух ядерных интронов). «Призрак», напоминающий озёрную лягушку, но не тождественный ей, входит в состав гибридного генома клональной диплоидной *Pelophylax hispanicus* (см. Dubey, Dufresnes, 2017). Таким образом, ге-

номы исчезнувших видов («геномное эхо») могут сохраняться у диплоидов и полиплоидов с клональным наследованием, возникших в результате гибридизации (Unmack et al., 2019).

К «призракам», но в другом смысле, призывают относить также те «новые виды», которые описываются на основе одного или немногих генов в рамках баркодинга из-за преждевременности таких выводов, не подтверждённых другими данными (Dufrenses, Jablonski, 2022).

4. Кандидатами в виды называют эволюционные линии, находящиеся в «серой зоне видообразования» между подвидом и видом, т.е. в положении почти-видов. Термин “Candidatus” был предложен в микробиологии (Murray, Schleifer, 1994: 175), а “candidate species” в герпетологии (Vences, Wake, 2007: 2652; Vieites et al., 2009: 8268) как провизорное понятие и с тех пор часто используется в зоологии при анализе дендрограмм для временного обозначения чётко выделяющихся (дивергентных) клад, не идентифицированных с известными видами. Таким образом, это – возможные виды. В случае гибридизации пара- и симпатрических «кандидатов» рекомендуется оценивать ширину контактной зоны; узкая зона говорит в пользу реальности видов (Dufrenses et al., 2020).

Важно не путать таксономических «кандидатов в виды» с понятием «виды-кандидаты» в области охраны природы (“candidate species”). Последнее служит для обозначения растений и животных, для которых имеется достаточно сведений, чтобы придать им статус исчезающих или уязвимых видов, но пока он не присвоен (список ожидания).

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ СОВРЕМЕННЫХ СООБЩЕСТВ И ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ПАЛЕОСООБЩЕСТВ ЗЕМЛЕРОЕК SORICIDAE МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ

**Л.Л. Войта, В.Е. Омелько, Е.П. Изварин,
Ю.А. Шемякина, В.С. Никифорова**

Землеройки (Eulipotyphla: Soricidae) – неотъемлемая часть наземных сообществ Палеарктики, Неарктики, Афротропики, Неотропики и Индомалайской области и могут рассматриваться как удобный модельный объект для разработки вопросов анализа динамики современных и палеосообществ. В коллекции ЗИН РАН

широко представлены землеройки Северной Палеарктики, которые характеризуются достаточно высоким видовым разнообразием представленных здесь родов. В частности, видовой состав рецентных сообществ землероек Дальнего Востока России включает 12 видов трех родов: *Sorex*, *Neomys* (Soricinae) и *Crocidura* (Crocidurinae). Этот же состав выявляется в ископаемых сообществах позднего плейстоцена и голоцена дальневосточного региона, но со значительно более широкими пределами морфологической изменчивости (morphological disparity), чем отмечается в современных популяциях.

В докладе представлены результаты разработки протоколов анализа позднплейстоценовых и голоценовых палеосообществ землероек с применением современных подходов к анализу морфологических данных. Для этой цели мы подготовили 182 трехмерные модели нижних челюстей или изолированных m1, используя компьютерный микро-томограф Neoscan N80 из приборного парка ЦКП «Таксон» ЗИН РАН. В исследование были включены остатки семи видов *Sorex* из верхнеплейстоценового слоя МК1-13 и среднеголоценового слоя МК1-7 пещеры Медвежий Клык (Южное Приморье, Россия): *S. isodon*, *S. unguiculatus*, *S. daphaenodon*, *S. caecutiens*, *S. minutissimus*, *S. roboratus*, *S. mirabilis*.

Анализ динамики морфологического разнообразия через применение концепции морфопространства (morphospace) выявил слабую реакцию формы m1 почти всех видов на «холодные» и «теплые» условия среды, кроме *S. daphaenodon* и *S. caecutiens*. Выявлены две группы видов, «генерализованные» и «специализированные» по форме m1, в соответствии с представлениями о распределении трофических ниш среди синтопирующих землероек. С использованием современного способа визуализации различий по форме трехмерных объектов через протоколы «R-статистики» были уточнены особенности формы m1, которые обеспечивают расхождение землероек по трофическим нишам. Обнаружен диагностический признак для видового определения материала по *S. unguiculatus* и *S. isodon* в ископаемых выборках. В комбинированной версии анализа с использованием формы (по первой главной компоненте) и размера (лингвальная длина) m1 удалось получить удовлетворительную дифференциацию между этими видами, которые до настоящего времени не идентифицируются в ископаемых материалах и определяются в открытой номенклатуре, как *Sorex* ex gr. *unguiculatus-isodon*. Применение дифференцирующего признака к ископаемому материалу показало, что *S. unguiculatus*,

возможно, появляется в летописи пещеры Медвежий Клык только в голоцене.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-24-00510).

ГВОЗДАРЬ СВЕТОВИДОВА *GVOZDARUS SVETOVIDOVI* – «УСКОЛЬЗАЮЩИЙ» ВИД АНТАРКТИЧЕСКОЙ ИХТИОФАУНЫ

Дж. Истмэн¹, О.С. Воскобойникова²

¹*Ohio University, USA*

²*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург*

Гвоздарь Световидова (*Gvozdarus svetovidovi* Balushkin, 1989) был впервые описан по единственному экземпляру как новый род и вид антарктических придонно-пелагических нототениевых рыб из подсемейства Pleuragrammatinae. Необычность находки этого достаточно крупного вида состояла в его обнаружении в коллекционном материале Зоологического института РАН среди рыб вида *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937 (клыкачи). В настоящее время известно всего 3 экземпляра *G. svetovidovi* (все в фондовой коллекции ЗИН), что подчеркивает его редкость в ихтиофауне Антарктики. На основании данных по внешней морфологии, отдельным признакам осевого скелета и строению сейсмодатированной системы род *Gvozdarus* был помещен между двумя наиболее продвинутыми родами подсемейства Pleuragrammatinae – *Aethotaxis* и *Pleuragramma* (Балушкин, 1989; Balushkin, 2000).

Нами было предпринято изучение строения скелета головы *G. svetovidovi* для уточнения его систематического положения и установления адаптаций скелета этого вида к обитанию в придонно-пелагической зоне морей Антарктики. Строение скелета *Gvozdarus*, обнаруживает большое число базальных для Pleuragrammatinae признаков, делающих его сходным с видами рода *Dissostichus*. Как и другие пелагические нототениевые, *G. svetovidovi* имеет удлинённые нейрокраниум и челюсти, способствующие повышению скорости плавания и увеличению размеров рта, но в целом кости черепа не проявляют значительной редукции, свойственной продвинутым Pleuragrammatinae. К базальным чертам *Gvozdarus* можно отнести достаточно простое озубление, по-видимому, являющееся прообразом сложной зубной системы родов *Dissostichus* и *Pleuragramma*. Необычной особенностью *Gvozdarus* является

строение жаберных тычинок наружного ряда первой жаберной дуги. Наружная часть тычинки представляет собой утолщенную костную пластинку, изнутри снабженную подушкой соединительной ткани, в которой находят основание несколько костных шипиков. У более продвинутого рода *Dissostichus* наружная костная пластинка исчезает, и остается лишь соединительнотканная подушка с многочисленными шипиками. Нейтральная плавучесть *Gvozdarus* обеспечивается за счет толстого слоя жира на костях, в чем *Gvozdarus* сходен с *D. mawsoni*. Помимо этого, жир насыщает и мышцы туловища, способствуя его существенному облегчению. По-видимому, подобный тип накопления жира, не встречающийся у других представителей подсемейства, также можно рассматривать как базальный. Однако, как было установлено А.В. Балушкиным (1989), *Gvozdarus* характеризуется и важной апоморфией – существенной редукцией каналов сейсмодатированной системы на голове, что дало этому автору основание сближать его с *Aethotaxis*.

Вероятно, *Gvozdarus* обитает в мезопелагических водах на глубине 200–1000 м к северу от фронта антарктического склона (примерно граница шельфа) и к югу от южной границы Антарктического циркумполярного течения. Он использует зрение и сейсмодатированную систему, чтобы обнаруживать биолюминесцентных, энергоемких миктофид, антарктическую серебрянку и криль в этом богатом ресурсами районе Южного океана. В фундаментальных аспектах своей биологии *G. svetovidovi* не похож на других Pleuragrammatinae и, вероятно, представляет собой раннюю линию развития этого подсемейства, которая может находиться на пути к исчезновению.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100285-3.

ФИЛОГЕНОМНЫЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ФИЛОГЕНЕЗА ФИТОПАРАЗИТИЧЕСКИХ МИКРОАРТРОПОД: АНАЛИЗ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ ГАЛЛОВЫХ КЛЕЩЕЙ (ACARIFORMES, ERIOPHYOIDEA)

В.Д. Ганкевич¹, А.С. Жук², Ф.Е. Четвериков¹

¹Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

Надсемейство Eriophyoidea (четыре ноги, или галловые клещи) – крупный таксон акариформных клещей, включающий около 5000

видов. Это гостально специфичные облигатные паразиты высших растений, для которых характерна предельная для растениеобитающих хелицерат степень миниатюризации и упрощенное строение. Попытки реконструкции филогенеза Eriophyoidea на основе анализа морфологических признаков и последовательностей ядерных и митохондриальных генов (18S, 28S, 16S, Cox1) пока не дали удовлетворительного результата. Основные причины такого положения – преобладание морфологических аутопоморфий и гомоплазий, отсутствие явных синапоморфий и высокая степень вариабельности классических маркерных генов. Возможно, для получения разрешенной филогении Eriophyoidea необходим филогеномный подход, в частности, сравнительное митогеномное исследование.

Нами были получены полнокольцевые митохондриальные геномы 28 видов галловых клещей из 15 родов, проведена аннотация генов, сравнение порядка генов в митогеномах взятых в анализ таксонов галловых клещей и построено филогенетическое дерево Eriophyoidea, основанное на анализе последовательностей 15 генов (13 белок-кодирующих генов и двух генов рРНК – 12S и 16S). В качестве аут-группы был взят почвенный эндостигматический клещ *Osperalycus tenerphagus* (Nematalycidae), поскольку филогеномика указывает на сестринское родство таксонов Eriophyoidea и Nematalycidae. Сборка de novo митогенома *O. tenerphagus* была проведена на основе данных из базы SRA GenBank.

В ходе митогеномного анализа были выявлены консервативные кластеры митохондриальных генов галловых клещей, характерные для таксонов членистоногих высокого уровня (Acariformes, Arthropoda), и высоко вариабельные участки митогеномов, расположенные между консервативными кластерами генов. Также обнаружены транслокации ряда генов, уникальные для отдельных надвидовых таксонов галловых клещей. Установлено, что различия в порядке митохондриальных генов сильнее выражены между морфологически отчетливо различающимися таксонами клещей, которые связаны с филогенетически неродственными группами растений-хозяев. При этом высокие поддержки на мультигенном митохондриальном дереве имеют молекулярные клады, соответствующие таксонам галловых клещей, четко очерченным по морфологическим признакам. Полученные результаты свидетельствуют о том, что митогеномный подход действительно эффективен для разрешения дивергенций Eriophyoidea на уровне родовых и надродовых групп и может шире

применяться для реконструкции филогенеза фитопаразитических клещей.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-24-00063).

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТА «БУТЫЛОЧНОГО ГОРЛЫШКА»
В ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОПУЛЯЦИИ *MICROTUS HARTINGI*
(RODENTIA, ARVICOLINAE) ИЗ ВОСТОЧНЫХ РОДОП
(БОЛГАРИЯ) МЕТОДАМИ ИНТЕГРАТИВНОГО АНАЛИЗА**

**Ф.Н. Голенищев, Т.А. Зоренко, Т.В. Петрова,
Л.Л. Войта, Л.Ю. Крючкова, Н. Атанасов**

Полевка Хартинга, *Microtus hartingi* Barret-Hamilton, 1903 входит в состав подрода *Sumeriomys* Argyropulo, 1933, который, в свою очередь, вместе с подродами *Microtus* Schrank, 1798 и *Hyrcanicola* Nadachowski, 2007 образуют собственно род *Microtus*. Еще относительно недавно *M. hartingi* рассматривался как подвид *M. guentheri* Danford et Alston, 1880, однако по данным анализа гена *Cyt b* было установлено, что *M. guentheri* состоит из двух аллопатрических форм: восточной – *M. guentheri* (Сирия, Израиль) и западной – *M. hartingi* (Балканы и Анатолия). Нами проведен интегративный анализ изолированной популяции полевки Хартинга из Восточных Родоп (Болгария) с использованием методов сравнительной морфологии и морфометрии, компьютерной томографии, а также данных изменчивости *Cyt b* и экспериментальной гибридизации.

В родопской популяции *M. hartingi* возникли специфические нарушения роста и развития черепа и зубной системы, вероятно, вследствие нарушения фосфорно-кальциевого обмена, что приводит к истончению костей черепа, а в дальнейшем и к прободению верхнечелюстной кости при росте моляров. Следует отметить, что, несмотря на столь серьезные нарушения, полевки продолжают нормально питаться, размножаться и доживают даже до стадии senex (более года). Выявленные нарушения, сохраняющиеся в ряду поколений полевок, по-видимому, генетически обусловлены. Нарушения синхронности в росте и развитии зубов могут быть как следствием стресса при обитании в экстремальных условиях, так и результатом инбридинга. Интересным представляется вопрос об адаптивном значении строения зубов. До сих

пор в объяснениях эволюционных причин усложнения зубов полевок нередко можно встретить спекуляции о прямом адаптивном значении появления дополнительных петель и выступающих углов зубов для лучшего перетирания корма. Как мы видим у *M. hartingi* из Восточных Родоп, некоторые зубы (M2, M3) не функционируют целиком и, тем не менее, это не мешает животным питаться. Филогенетическая реконструкция, основанная на последовательностях *Cytb*, показала, что *M. hartingi* из Восточных Родоп образуют отдельную кладу, сестринскую кладу полевок из северо-восточной Греции (также в предгорьях Родоп). По данным экспериментальной гибридизации, *M. hartingi* из Родоп в значительной степени репродуктивно изолирована от *M. h. ankaraensis* из Анатолии (Турция), на что указывают уменьшение доли приступивших к размножению пар, сравнительно высокая смертность детенышей и повышенная стерильность гибридных самцов. Результаты проведенного нами интегративного анализа выявили высокую степень дифференциации *M. hartingi* из Восточных Родоп как в плане морфологического строения, так и изменчивости гена *Cyt b* и степени репродуктивной изоляции от *M. h. ankaraensis*. Своеобразие родопской популяции *M. hartingi*, можно объяснить эффектом «бутылочного горлышка». Во время первой колонизации Европы *M. hartingi* попали в своеобразную горную «ловушку», в которой они существуют уже несколько тысяч лет. Все обнаруженные отличия родопских полевок от остальных номинативных форм *M. hartingi* не могут быть таксономически интерпретированы, так как для обоснования подвидового статуса пока недостаточно данных для сравнения ее с полевками из северо-восточной Греции, а степень репродуктивной изоляции недостаточна для обоснования видового статуса. Тем не менее, это не мешает признать *M. hartingi* из Болгарских Родоп популяцией, находящейся под угрозой исчезновения (EN), и внести ее в региональные «Красные книги» Болгарии.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-24-00782).

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ НА СТРУКТУРУ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АВТОТРОФНЫХ ПЛАНКТОННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПРИМЕРЕ ЭСТУАРИЯ Р. НЕВА

М.С. Голубков

Строительство новых портовых сооружений и намыв новых территорий являются неизбежными следствиями быстрого роста населения на побережье морей, что существенно влияет на экосистемы прибрежных вод. Несмотря на частую реализацию подобных крупных инженерных проектов в этих районах, их воздействие на различные компоненты водных экосистем, включая планктонные микроорганизмы, до сих пор остается мало изученным. Целью данного исследования было оценить влияние масштабного строительства новых портовых сооружений и намыва новых территорий в акватории эстуария р. Нева в 2000-х годах на структуру и функционирование сообщества автотрофных планктонных микроорганизмов.

Исследование показало, что выемка и перемещение больших объемов донных отложений в процессе строительства приводили к значительному увеличению концентрации взвешенных веществ в водах эстуария. Это сопровождалось повышением содержания биогенных элементов, поступающих в воду из взмученных донных отложений, и уменьшением прозрачности воды в эстуарии. Концентрация общего фосфора в водах эстуария во время строительства достоверно коррелировала с концентрацией взвешенных веществ. Однако, увеличение количества питательных веществ оказалось менее важным для развития автотрофных планктонных микроорганизмов, чем ожидалось. Дисперсионный анализ и множественный регрессионный анализ показали, что ключевым предиктором первичной продукции планктона в периоды строительства была прозрачность воды. Валовая первичная продукция планктона значительно сокращалась во время проведения гидротехнических работ. В отличие от краткосрочных последствий взмучивания донных отложений из-за ветровых явлений, которые часто стимулируют развитие автотрофных планктонных микроорганизмов, долгосрочные работы по строительству новых портовых сооружений и длительные периоды высокой мутности отрицательно влияли на продуктивность и видовое богатство автотрофных планктонных микроорганизмов. Тем не менее, анализ

бета-разнообразия не выявил существенных изменений в структуре сообщества автотрофных планктонных микроорганизмов в периоды строительства и периоды отсутствия работ. Изменения коснулись преимущественно редких видов, и в меньшей степени затронули встречаемость и биомассу доминирующих и субдоминантных видов. Распространенные в эстуариях виды автотрофных планктонных микроорганизмов, вероятно, благодаря различным приспособлениям, способны выживать в условиях длительного затенения и успешно конкурировать с видами, неспособными длительное время переносить недостаток света. В периоды гидротехнических работ в эстуарии р. Нева в сообществе автотрофных планктонных микроорганизмов доминировали виды, способные к миксотрофии и фаготрофии, и виды, обладающие способностью увеличивать содержание хлорофилла и других пигментов в своих клетках. Кроме того, среди доминирующих видов были те, которые могли активно мигрировать в менее глубокие слои воды с более высоким уровнем освещенности, используя для этого жгутики или газовые вакуоли.

В целом, проведенное исследование показало, что для корректного учета воздействия строительства новых портовых сооружений на сообщество автотрофных планктонных микроорганизмов и возможной минимизации этого воздействия необходимо дополнительное изучение экологии отдельных видов, их взаимоотношений и физиологических реакций на различные факторы окружающей среды.

РАЗВИТИЕ СРАВНИТЕЛЬНО-АНАТОМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ANTHOZOA ОТ ЭРЕНБЕРГА ДО НАШИХ ДНЕЙ И ЕЁ НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ДАННЫМИ

С.Д. Гребельный, Н.Ю. Иванова, Е.А. Нефедова

Особенности симметрии с давних пор использовались в таксономии кишечнополостных. Ещё Х.Г. Эренберг (Ehrenberg, 1834) выделял в составе Anthozoa восьмилучевых и многолучевых полипов (Octactinia и Pλυactinia). Позже деление по числу антимеров послужило ключевым признаком в общеизвестной схеме классификации Э.Г. Геккеля (Haeckel, 1866), получившей распространение в немецкой, а из неё и в русской зоологической и палеонтологической литературе. Так появились Tetra-, Hexa- и Octocorallia. При первом, поверхностном рассмотрении,

антозоев считали радиально симметричными животными и относили к обширной в то время группе Radiata.

Более удачным, как потом оказалось, было предложенное французскими исследователями А. Мильн-Эдвардсом и Ж. Эмом (Milne Edwards, Haime, 1857) деление кораллов на две большие группы, Alcyonaria и Zoantharia. Полипы альционарий в течение всей жизни сохраняют билатеральное строение, в большинстве своем снабжены всего восьмью мезентериями и восьмью перистыми щупальцами. Зоантарии же в ходе онтогенеза обычно развивают несколько циклов попарно сближенных мезентериев и большое число щупалец.

Характерной особенностью альционарий служит лежащий в их мясистом теле скелет из известковых склеритов, нередко дополняемый органическим стержнем, поддерживающим ствол и ветви колонии. В отличие от них зоантарии обычно не развивают органического скелета, но клетки их эктодермы часто выделяют наружный массивный известковый скелет, вдающийся в виде склеросепт между парными мезентериями. Наличие или отсутствие скелета, а также ветвление щупалец создают разнообразие отрядов и семейств Anthozoa, однако на ранних стадиях развития их личинки и полипы всегда демонстрируют билатеральную симметрию. У одиночных крупных видов она в дальнейшем маскируется внешней радиальной симметрией, присущей большинству сидячих животных, но билатеральная симметрия сохраняется или проявляется вновь при сокращении числа зон закладки мезентериев, что ясно видно на примере ругоз и нескольких групп актиний.

В наших недавних публикациях рассмотрены традиционные представления о классификации Anthozoa и дана схема их таксономического деления, отражающая современное состояние знаний (Grebelnıy, Ivanova, 2023; Гребельный, Иванова и Нефедова, 2023). Приходится признать, что попытки проверить, обосновать, уточнить классификацию коралловых полипов с привлечением молекулярно-генетических маркеров нередко приводят к разрушению хорошо знакомых, привычных таксонов; при этом появляются ветви, которые не находят вполне определенного места на филогенетическом древе Anthozoa. Причины несовпадения старой схемы классификации, опирающейся на многолетний опыт работы систематиков, с результатами новых молекулярных исследований составляют в настоящее время предмет напряженной и увлекательной дискуссии.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ РАЗНООБРАЗИЯ ЦЕНТРОХЕЛИД: ЭВОЛЮЦИЯ, ЭКОЛОГИЯ И ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ

Д.О. Драчко^{1,2}

¹ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург,

² Санкт-Петербургский государственный университет

Центрохелидные солнечники (*Centroplasthelida Febvre-Chevalier et Febvre, 1984*) – это крупная монофилетическая группа аксоподиальных протистов. Так как ультраструктура клетки центрохелид достаточно консервативна, морфологическая идентификация представителей этого таксона обычно опирается на строение наружного скелета. Большинство центрохелид несут кремниевый скелет, элементы которого, чешуйки, очень разнообразны по форме и строению. Реже встречаются органические покровы, состоящие из спикул, которые имеют простое, универсальное строение. Долгое время предполагалось, что органический скелет является анцестральным признаком центрохелид, а кремниевый скелет возник позже в ходе эволюции таксона (Микрюков, 2002), однако по мере накопления данных стало ясно, что эти признаки распределены по их филогенетическому древу мозаично. Отчасти, такое распределение объясняется способностью некоторых центрохелид менять состав покровов в ходе реализации жизненного цикла (Zlatogursky et al., 2018). Тем не менее, многие штаммы с органическим скелетом, принадлежащие к семействам и даже родам, характеризующимся наличием кремниевого скелета, не проявляют морфологического диморфизма (Otani et al., 2019). Для понимания природы этих наблюдений и закономерностей эволюции покровов центрохелид, помимо рутинного накопления морфологических и молекулярных данных, необходимо детальное наблюдение жизненных циклов в культурах и выявление экологических факторов, влияющих на эволюцию покровов. В докладе обобщаются полученные нами за последнее время данные о разнообразии, экологии и жизненных циклах центрохелид и приводятся предварительные выводы о глобальных закономерностях эволюции этого таксона.

Были получены данные по морфологии, жизненным циклам и филогенетическому положению нескольких представителей родов *Raphidiophrys*, *Choanocystis* и *Acanthocystis*. *Raphidiophrys heterophryoidea* реализует жизненный цикл, в котором чередуются

колониальная стадия с кремниевым скелетом, одиночная стадия со смешанным кремниево-органическим скелетом и одиночная стадия с полностью органическим скелетом. Близкий ему вид *R. elegans* существует исключительно в форме колоний с кремниевым скелетом. В пределах рода *Choanocystis* выявлено два близкородственных штамма с органическим скелетом, один из которых образует цисты с кремниевым скелетом, соответствующим описанию вида *C. perpusilla*, а второй не образует кремниевых чешуек. Был также изучен представитель рода *Acanthocystis* с органическим скелетом, принадлежащий кладе, соответствующей морфологическому виду *A. nichollsi*. Обобщая наши данные с данными других авторов, можно увидеть, что переходы между кремниевым и органическим скелетом осуществляются часто, на коротких эволюционных дистанциях, и только в отдельных случаях связаны с наличием диморфизма покровов в пределах одного штамма.

Для получения сведений об экологии центрохелид была проведена аннотация ASV региона V4 гена 18S рРНК центрохелид из метабаркодингового датасета EukBank; в качестве референса использовалась разработанная нами аннотированная база последовательностей гена 18S рРНК центрохелид. Анализ метабаркодинговых данных позволяет сделать предварительные выводы о корреляции наличия органического скелета с предпочтением к обитанию в бентосе и наличия кремниевого скелета с предпочтением к обитанию в планктоне.

На основе полученных данных можно предположить, что потенциал к образованию органического скелета является универсальным свойством центрохелид, которое обеспечивает большую экологическую пластичность. Жизненные циклы с диморфизмом покровов и мозаичное распределение признаков в пределах родов и семейств являются частными его проявлениями.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100281-5.

**ЗООБЕНТОС ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНОВ
КАРСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕЖАЩИХ К НИМ
АКВАТОРИЙ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ
ARCTIC CENTURY В 2021 Г.)**

**Н.Е. Журавлева, Н.В. Денисенко, С.Г. Денисенко, С.Ю. Гагаев,
Д.В. Захаров, О.Л. Зими́на, Н.Ю. Иванова, А.В. Смирнов,
Е.В. Солдатенко, Е.А. Стратаненко, Е.М. Чабан**

Сравнительно обильная донная фауна Карского моря весьма сложна для изучения и биогеографического анализа, что связано с высоким разнообразием и нестабильностью биотопов (Филатова, Зенкевич, 1957). По материалам экспедиции ARCTIC CENTURY в 2021 г. было выявлено 279 видов донных беспозвоночных. Наибольшее число видов отмечено на станции, расположенной восточнее желоба Воронина у архипелага Северная Земля. Станции у о. Грэм-Белл, в центре материковой отмели, на выходе из пролива Шокальского и у о. Визе также выделяются по количеству видов. На остальных станциях обнаружено от 4 до 40 видов. На всех станциях с высоким видовым богатством, доминируют полихеты, ракообразные и моллюски (по убыванию), а на двух из них еще и мшанки. Таксономическая представленность других ключевых систематических групп таких, как Porifera, Cnidaria, Echinodermata была невысокой, хотя иглокожие доминировали по числу видов на станциях в проливе Шокальского и к северо-востоку от о. Комсомолец.

В количественном отношении наблюдается иная закономерность. Максимальные значения биомассы зообентоса отмечены для внешней кромки шельфа, где были обнаружены массовые скопления стеклянных губок в виде матов. Характерная особенность этого участка – большое содержание спикул в поверхностных донных осадках. Верхний слой этого субстрата покрыт илом, который обильно заселен Bryozoa и Polychaeta. На большей части других станций доминируют Polychaeta или Mollusca, преимущественно Bivalvia, кроме четырех, где велика доля Bryozoa, а на станциях в восточной части пролива Красной Армии и к северо-востоку от о. Шмидта Bryozoa преобладают над остальными группами. В восточной части пролива Красной Армии и на кромке шельфа к северо-востоку от архипелага Северная Земля были обнаружены скопления представителей Cnidaria (до 80% от общей биомассы зообентоса).

Распределение трофических группировок в изученном районе хорошо согласуется с распределением представителей эпи- и инфауны.

На всех станциях в Карском море высока (а иногда и превалирует) доля сестонофагов-фильтраторов, что может рассматриваться как следствие интенсивного водообмена в данном районе, обусловленного географическим местоположением станций на склонах отмелей, в прибрежной зоне островов и на кромке шельфа. На станциях, расположенных на границе с морем Лаптевых и в проливах в непосредственной близости от его акватории, доминанты сменяются в сторону детритофагов и плотоядных организмов. Обилие детритофагов (более 50% от общей биомассы зообентоса) позволяет предположить наличие интенсивного осадконакопления в данных местообитаниях, а высокий процент плотоядных форм (преимущественно падальщиков) может свидетельствовать о неустойчивом функциональном состоянии поселений зообентоса, вызванном каким-либо спонтанно-катастрофическим воздействием температуры или солености.

Сказанное выше подтверждается результатами построения неориентированного графа сходства основных биотопических группировок зообентоса. Обособленность станций 53, 69, 70, и 93 от остальных, демонстрирует как дискретность, так и континуальность населяющих район группировок зообентоса, что хорошо объясняется особенностями внешней среды в каждой из исследованных локаций. Станции 73, 75, 79, 104 и 109 находятся в проливах, а станции 53, 69, 70 и 93 расположены на материковом склоне в области смешения нескольких типов водных масс. Станции 1, 25, 32, 61 и 62 находятся в прибрежье островов, причем станции 1 и 32 располагаются в зоне прямого воздействия атлантических охлажденных вод, а станции 25, 61 и 62 – на границе смешения арктических и трансформированных атлантических водных масс. Зообентос на станциях в проливах и на материковом склоне наиболее беден по всем показателям (кроме станции 53), а преобладание плотоядных организмов может свидетельствовать о нестабильности состояния зообентоса в этих районах моря.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100275-4.

**ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МЯГКОГО КОРАЛЛА
ALCYONIUM DIGITATUM LINNAEUS, 1758
(ANTHOZOA: OCTOCORALLIA) В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ
ВОСТОЧНОГО МУРМАНА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)**

**Н.Е. Журавлева¹, Н.А. Стрелкова², С.А. Назарова¹,
Н.В. Томановская**

¹ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

² Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича), Мурманск

Согласно последним данным, мировая фауна мягких кораллов рода *Alcyonium* Linnaeus, 1758 (Anthozoa: Octocorallia) насчитывает 54 валидных вида (преимущественно обитающих в тропических и субтропических водах северного и южного полушария), из которых 7 видов распространено у берегов Европы (Castello et al., 2001; WoRMS, 2024). Среди них наиболее протяженные на север ареалы имеют *A. digitatum* Linnaeus, 1758, широко распространенный у берегов Норвегии, *A. norvegicum* (Koren & Danielssen, 1883), отмеченный в Северном море и у берегов Швеции и Норвегии, и *A. spitzbergensis* Verseveldt & Ofwegen, 1992, описанный по четырем экземплярам, собранным в 1921 г. в водах архипелага Шпицберген и у мыса Флора о-ва Нордбрук архипелага Земля Франца Иосифа. Позже *A. norvegicum* был синонимизирован с *A. digitatum* (Molander, 1915; Jungensen, 1917, 1944). На противоположной стороне Атлантического океана у берегов Массачусетса и Новой Шотландии был описан вид *A. siderium* Verrill, 1922, который на основании генетических исследований позже также был синонимизирован с *A. digitatum* (McFadden, Ofwegen, 2013). По *A. spitzbergensis* данных генетических исследований пока нет.

В августе 2021 г. в губе Дальнезеленецкой (69.119° с.ш., 36.069° в.д., Баренцево море, Восточный Мурман) была обнаружена крупная колония не характерного для фауны данного района мягкого коралла. Таксономическая идентификация колонии была проведена на основании формы и расположения склеритов антокодиев и кортикального слоя зафиксированного фрагмента. Для подтверждения результатов таксономической идентификации на основе морфологических признаков был амплифицирован стандартный баркодинговый фрагмент гена цитохромоксидазы 1 (COI).

Расположение и морфология склеритов изученного фрагмента колонии мягкого коралла указывает на принадлежность обнаруженного

экземпляра к виду *Alcyonium digitatum*. По результатам генетического анализа видно, что последовательность фрагмента гена COI у исследуемой колонии на один нуклеотид отличается от приведенных в базе Genbank для видов *A. digitatum*, *A. cf. norvegicum* и *A. siderium*, у которых данный фрагмент идентичный. Это незначительное отличие не противоречит отнесению экземпляра, обнаруженного в губе Дальнезеленецкой в Баренцевом море, к виду *A. digitatum*. Последний в таком статусе (с *A. norvegicum* и *A. siderium* в качестве младших синонимов) может быть отнесен к биогеографической группе видов с Атлантическим широко-бореальным типом ареала, восточная граница которого проходит в Баренцевом море в прибрежных водах Кольского полуострова (Восточный Мурман). Отсутствие генетических исследований представителей *A. spitzbergensis* оставляет открытым вопрос о его отношениях с *A. digitatum*.

По литературным данным, у популяций восточной и западной сторон Атлантики различаются стратегии размножения и биотопы: европейская популяция обитает на глубинах от 18 до 500 м и разнополюми колониями выметывает половые продукты в воду, в то время как западная популяция обитает на прибрежных скалах от 6 до 18 м и имеет демерсальную ползающую планулу, вынашиваемую материнской колонией (Sebens, 1983). Обнаруженная в Баренцевом море колония была отмечена на стадии созревания яиц, что говорит об отнесении ее типа стратегии к таковой европейской популяции, в то время как по набору склеритов она ближе скорее к западной, как и вид *A. spitsbergensis*. Несмотря на крупные размеры, успешное питание и фертильность обнаруженной колонии, воды Восточного Мурмана, скорее всего, являются зоной стерильного выселения *A. digitatum* на восточной границе его ареала, поскольку ни в 2022, ни в 2023 гг. в водах Восточного Мурмана не было обнаружено ни одной колонии этого вида.

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания № 122031100275-4 (ЗИН РАН) и № 076-00004-23-00 (ФГБНУ ВНИРО).

ПОЯВЛЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА БАРЕНЦЕВОМОРСКОМ ШЕЛЬФЕ В ПОСЛЕДНИЕ 20 ЛЕТ

Д.В. Захаров¹, И.Е. Манушин², Н.Е. Журавлева¹, О.Л. Зиминая¹,
Н.А. Стрелкова², В.С. Вязникова², К.С. Хачетурава², Д.Ю. Блинова²

¹ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

² Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича), Мурманск

Одной из наиболее полных и масштабных ревизий фауны беспозвоночных в арктических морях и Северном Ледовитом океане был «Список видов свободноживущих беспозвоночных Евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики», опубликованный Зоологическим институтом РАН в 2001 г. С момента ее выхода прошло уже больше 20 лет, общее число видов достигло 4784, но в регионе продолжают делать новые находки.

Одним из наиболее интересных районов можно считать Баренцевоморский шельф, где зарегистрировано появление десятков новых для этого региона видов животных. Большая их часть широко распространена вдоль побережья Норвегии, и их нахождение восточнее, в Баренцевом море, является результатом увеличения теплосодержания вод Нордкапского течения и аномально высоких летних температур, отмечавшихся в отдельные годы, когда рекордно высокие температуры наблюдались даже за полярным кругом. По данным норвежских исследователей, из 1600 видов донных морских беспозвоночных, северная граница распространения которых в 1997 г. располагалась у берегов Норвегии, 565 видов к 2010 г. расширили свои ареалы в северном направлении в среднем на 750–1000 км. При этом, по данным тех же исследователей, около 300 видов продвинулись вплоть до западных районов Баренцева моря и архипелага Шпицберген.

Однако новые находки связаны не только с потеплением. В последние годы был описан и ряд новых для науки видов в результате появления новых методов исследований и особенно массового применения молекулярно-генетических методов идентификации животных. Кроме того, часть видов в силу своих мелких размеров и низкой плотности ускользала от внимания исследователей, а часть была по каким-то причинам не включена в фаунистический список 2001 г., хотя и отмечалась в более ранних работах и сборах.

В пределах Баренцевоморского шельфа в рамках наших исследований и обзора литературы были отмечены как минимум 148

видов, отсутствующих в ревизии 2001 г., в частности, Porifera – 5 видов, в основном Demospongiae; Cnidaria – 7 видов Hydrozoa и 1 вид Anthozoa; Annelida – 3 вида, в основном Polychaeta. Одними из наиболее обильных по количеству новых видов в исследуемом регионе оказались членистоногие (Arthropoda), в том числе: Amphipoda – 37 видов, Cumacea – 13, Isopoda – 37, Tanaidacea – 11 и Scalpellomorpha – 1 вид. Вторыми по обилию находок стали моллюски (Mollusca), в том числе Gastropoda – 15 видов, Bivalvia – 11 и Cephalopoda – 2 вида. Четыре дополнительных вида найдены среди Echinodermata (Asteroidea – 1 и Ophiuroidea – 3) и один вид – среди Bryozoa.

Как правило, новые виды в пределах баренцевоморского шельфа представлены единичными находками, и влияние этих вселенцев на нативные сообщества носит преимущественно локальный и ограниченный характер, в отличие от таких интродуцентов, как камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) и краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*). Тем не менее, исследование новых вселенцев представляет огромный интерес в рамках изучения как процесса их дальнейшей акклиматизации и расселения, так и связанной с этим динамики сообществ в Баренцевом море и прилегающих к нему водах.

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания № 122031100275-4 (ЗИН РАН) и № 076-00004-23-00 (ФГБНУ ВНИРО).

О ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЯХ В ГРУППЕ СЕМЕЙСТВ, БЛИЗКИХ К NITIDULIDAE (COLEOPTERA)

А.Г. Кирейчук

Новые данные, полученные в течение последних 10 лет как по современным, так и по вымершим кукуйюидным жукам, позволили откорректировать первоначальные представления о филогенетических отношениях между таксонами надродового ранга в группе семейств, близких к жукам-блестянкам (Kateretidae, Nitidulidae и Smicripidae) (Кирейчук, 1982, 1986, и др.), а также сделать некоторые поправки, опубликованные в последующие годы. Основные положения первоначально предложенной концепции не изменились, но добавились дополнительные таксоны ранга подсемейства и трибы. Новые изменения в основном связаны с изучением вымерших семейств Parandrexidae и Arophisandridae, для которых были обоснованы

филетические отношения с тремя вышеперечисленными семействами и установлены новые ископаемые подсемейства *Cretoparasucujinae* в составе *Parandrexidae* и *Antirhelinae* в составе *Kateretidae* (Kirejtshuk et al., 2023).

Для определения родственных отношений рассматриваемой группы семейств использован как филогенетический анализ в понимании В. Хеннига (Hennig, 1950, 1965), так и анализ разных аспектов рассмотрения эволюции групп, в которых обнаруживаются сходные изменения во времени и которые могут рассматриваться как независимые в соответствии с принципом множественных параллелизмов (Kirejtshuk, 2021). В качестве разноаспектных параллелизмов взяты изменения в строении гениталий самца и модусы в освоении питания генеративными и вегетативными органами растений во время активных фаз жизненного цикла представителей современных семейств *Nitidulidae*, *Kateretidae* и *Smicripidae*, которые предполагаются и в вымерших семействах *Arophisandridae* и *Parandrexidae*, а также, по-видимому, в близком к ним современном семействе *Voganiidae*. Помимо этого, анализировались структурные параллелизмы, обнаруженные у антофагов покрытосеменных и стробилофагов голосеменных в форме тела, отдельных склеритов и органов, в частности, в строении ротового аппарата, надкрылий, вершины брюшка, а также различия в строении головы и ее придатков (усиков и ротовых частей) у обитателей генеративных органов голосеменных и покрытосеменных. Обнаруженные параллельные структурные закономерности позволили установить, что большинство мезозойских групп жуков, предположительно питавшихся на мужских генеративных органах современных им высших растений, вопреки популярному мнению (Peris et al., 2017; Cai et al., 2018; Peris, Jelínek, 2020 и многие др.), едва ли могли быть опылителями. Однако устойчивые связи жуков с мужскими стробилами голосеменных прослеживаются в некоторых захоронениях Азии уже начиная со средней юры.

Важным обстоятельством формирования облигатных трофических связей с генеративными органами растений не только представителей рассмотренной группы семейств, но и многих других антофильных жуков, являлись изменения в местообитаниях и питании личинок, которые исходно были мицетофагами. Жизненный цикл, включающий питание генеративными органами растений в обеих активных фазах индивидуального развития (при личиночной и имагинальной антофагии), обычно представлял собой преадаптацию для дальнейшего

освоения высших растений, т.е. переходу различных групп жуков к личиночной или полной филлофагии, а в дальнейшем к личиночному стеблевому бурению и ксилофагии многих специализированных групп инфраотряда кукуйиформных жуков – продвинутых кукуйиоидных, тенебрионоидных, хризомелоидных и куркулионоидных. Сходные изменения в трофике, жизненном цикле и местообитаниях протекали параллельно в разных семействах и в разное время исторического развития отряда (Кирейчук, 1989).

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100272-3.

АКВАРИАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ С ИМИТАЦИЕЙ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОГО ЦИКЛА

Е.В. Козминский, П.А. Лезин

Разработан действующий прототип автоматизированной лабораторной установки с имитацией приливно-отливного цикла для содержания литоральных моллюсков. В настоящий момент установка включает две группы из пяти аквариумов. Во время прилива вода самотеком поступает в аквариумы из общего водонапорного бака; во время отлива – самотеком сливается в общий водосборный бак. Перекачка воды между баками осуществляется специальной помпой. Блок управления установки состоит из объединенных в сеть платы Arduino Mega и двух плат Arduino Nano. С платой Arduino Mega связаны системы контроля параметров окружающей среды, регистрации данных, автоматической замены морской воды и программно-реализованная система самопроверки и принятия решений. Одна из плат Arduino Nano отвечает за реализацию приливно-отливного цикла; другая – за дистанционный контроль и управление установкой с помощью SMS. Результаты пилотных экспериментов свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат, которое дает комплекс при содержании моллюсков. Разработанная установка может быть использована для содержания широкого спектра литоральных животных при изучении их биологии, оценке воздействия факторов внешней среды, биотестировании и в образовательных целях.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ (PARASITIFORMES, IXODIDAE)

С.А. Леонович

Иксодовые клещи – одно из семейств надсемейства иксодоидных клещей, в которое, наряду с иксодидами, входят аргасовые клещи (*Argasidae*) и клещи-нутталлиелиды (*Nuttallielidae*). Все они являются облигатными кровососами, временными эктопаразитами наземных позвоночных, а многие относятся к переносчикам опасных трансмиссивных инфекционных заболеваний человека и животных.

Согласно господствующим в настоящее время представлениям, происхождение иксодовых клещей тесно связано с хозяевами этих временных эктопаразитов, и споры ведутся в основном о том, какие именно хозяева были первичными, а какие вторичными. В частности, его связывали с первичным паразитированием на млекопитающих (Филиппова, 1978; de la Fuente, 2003), рептилиях (Hoogstraal, 1978), и даже амфибиях (Jeyaparkash, Hoy, 2009). На основании сравнительно-морфологических данных разные авторы сближают иксодовых клещей с клещами-сенокосцами (*Opilioacarina*), клещами-голотирами (*Holothyrina*), уropодовыми клещами (*Mesostigmata*, *Uropodina*) или клещами-нутталлиелидами (*Nuttallielidae*).

Время происхождения группы до недавнего времени датировалось 100 *mya* или даже 30–40 *mya*, что объяснялось имевшимися на тот период палеонтологическими данными. Недавние находки в Бирманском янтаре (Сеноман, 100.5–93.9 *mya*) представителей современных родов иксодид показали, что эволюция этих клещей протекает крайне медленно, и их происхождение никак не может относиться к этому периоду. Согласно представлениям группы палеонтологов (Chitima-Dobler et al., 2022), возникновение группы, которая впоследствии разделилась на иксодовых и аргасовых клещей, произошло в период с середины пермского периода палеозоя до раннего юрского периода мезозоя (273 и 192 *mya*). Молекулярно-генетические данные также заставляют относить происхождение иксодовых клещей не к середине мезозоя, а к более раннему периоду. Так, на основании исследования митохондриальной ДНК у представителей 25 таксонов хелицерат было показано, что расхождение эволюционных стволов пауков, скорпионов, клещей (*mites*, кроме иксодоидных) и иксодоидных клещей (*ticks*) произошло в конце палеозоя (Shao, Barker, 2007; Jeyaparkash, Hoy, 2009), что хорошо согласуется с новыми палеонтологическими находками.

Согласно последним сравнительно-генетическим, сравнительно-морфологическим (наши исследования органов чувств) и этологическим (изучение процесса питания) данным, наиболее близкими к иксосодам являются почвенные клещи – голотиры. Можно высказать предположение, что общие предки иксодоидных клещей (иксодиды, аргазиды, и Nuttallielidae) были малоподвижными почвенными клещами, подобными голотирам, питавшимися жидким содержимым мертвых почвенных и напочвенных беспозвоночных, а затем и позвоночных, после чего произошел переход от питания на малоподвижных относительно крупных мертвых позвоночных к кровососанию на также малоподвижных, но уже живых позвоночных. Главное в данном случае – не таксономическая принадлежность животного (амфибия, рептилия, млекопитающее), а его экологическая ниша. Иначе говоря, первоначальная адаптация шла не к какой-то группе хозяев, а к определённой среде, и главную роль на начальных этапах эволюции играла не коэволюция с позвоночными, а экологическая специализация.

ХРОМОСОМНЫЕ СБОРКИ ГЕНОМОВ И КАРИОСИСТЕМАТИКА XXI ВЕКА

В.А. Лухтанов

В основе кариосистематики лежат две простые идеи. (1) Хромосомы очень изменчивы морфологически, и признаки кариотипов могут быть использованы для решения задач таксономии и филогенетики в такой же степени, как признаки строения организмов (традиционная систематика) и нуклеотидные замены (молекулярная систематика). (2) Различия в морфологии хромосом ассоциированы с возникновением репродуктивной изоляции и поэтому могут маркировать биологические виды.

Обе идеи многократно подтверждались на протяжении XX века, но реальному внедрению кариосистематики в широкую таксономическую практику мешало то, что признаки кариотипа очень трудно выявлять. В течение последних 150 лет почти единственным инструментом изучения хромосом и хромосомных перестроек был микроскоп. Однако возможности микроскопа ограничены, и по этой причине для многих организмов наши знания, если они есть вообще, ограничиваются элементарным подсчетом числа хромосом. Решение проблемы пришло из молекулярной биологии. За последние 3–5 лет мировой наукой были

разработали методы, которые позволяют не просто секвенировать полные геномы, но и с огромной точностью разложить полученные последовательности по отдельным хромосомам. Фактически, это привело к появлению нового инструмента для изучения морфологии хромосом и выявления многочисленных и универсальных (гомологичных для разных филумов) цитогенетических признаков.

В представленном докладе рассказывается о некоторых исследованиях, которые проводили в отделении кариосистематики лаборатории систематики насекомых ЗИН РАН в течение последних 2–3 лет и были опубликованы в 2023 г. Особенностью этих работ было то, что для изучения кариотипов, хромосом, хромосомных перестроек и гомологичных участков хромосом разных таксонов использовался не микроскоп, как обычно, а нуклеотидные последовательности целых геномов, которые анализировались с использованием методов биоинформатики.

В частности, при изучении геномов бабочек-голубянок (*Lepidoptera*, *Lycaenidae*) с одинаковыми хромосомными числами были выявлены многочисленные хромосомные инверсии, и показано, что эти инверсии несут высокий филогенетический сигнал и могут быть использованы для реконструкции филогенеза. Выявлено также необычайно высокое разнообразие структуры теломерных мотивов в хромосомах у представителей разных отрядов насекомых, причем оказалось, что отдельные типы организации теломер маркируют филогенетические линии разного таксономического уровня. Сделан вывод, что анализ хромосомных синтений может оказаться полезным для выявления эволюционных отношений между надсемействами и семействами в крупных отрядах насекомых, которые не всегда решаются в рамках традиционной или молекулярной филогенетики.

РАЗНООБРАЗИЕ ЗМЕЙ АРАЛО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

К.Д. Мильто

Видовое разнообразие змей Арало-Каспийского региона включает 61 вид из 8 семейств. Инфраотряд *Scolecophidia* представлен двумя семействами, *Leptotyphlopidae* и *Typhlopidae*, с одним видом каждое. Инфраотряд *Alethinophidia* представлен 59 видами, в том числе *Henophidia* – 5 видов одного семейства *Voidae* и *Caenophidia* – 54 вида из 5 семейств. Наиболее разнообразны *Colubridae* – 31 вид и *Viperidae* – 16

видов. Psammophiidae насчитывают 3 вида, Natricidae и Elapidae – по 2 вида.

Фауна змей Арало-Каспийского региона складывается из фаун Северного Прикаспия (11 видов), Большого Кавказа и Предкавказья (23 вида), Малого Кавказа и Закавказья (29 видов), Эльбурса (39 видов), Туркмено-Хорасанских гор (29 видов), Арало-Каспийского перешейка и плато Устюрт (13 видов), пустынь Каракум (19 видов) и Кызылкум (16 видов), Тянь-Шаня и Памиро-Алая (18 видов) и равнин северо-восточного Приаралья (10 видов). Наиболее богаты видами регионы Эльбурса и Приэльбуржья, Туркмено-Хорасанских гор и Закавказья. Дельта-разнообразие растёт в широтном направлении, от равнин Приаралья и Северо-Каспийской низменности к горным системам Иранского плато.

Ареалографически можно выделить пять основных групп: палеарктическую (западно- и восточно-палеарктические виды), средиземноморскую (восточно-средиземноморские и кавказские виды), западноазиатскую (сахаро-синдские и собственно западноазиатские виды), центральноазиатскую (среднеазиатские и центральноазиатские виды) и палеотропическую (южноазиатские и афроазиатские виды). Фаунистическое ядро региона составляют широкоареальные восточно-средиземноморские и западноазиатские виды. Узкоареальных видов немного (11), большинство из них относятся к гадюкам (6 видов) и колюбридам (4 вида).

Центрами разнообразия и, вероятно, видообразования в регионе являются Армянское нагорье, Эльбурс и Туркмено-Хорасанские горы, т.е. территории, лежащие уже преимущественно в субтропическом поясе. Обширные области суббореального пояса характеризуются заметно меньшим разнообразием змей. Пятнадцать видов из трёх семейств являются эндемиками (уровень видового эндемизма составляет 25%). Горы Эльбурса, отличаясь наибольшим гамма-разнообразием, являются одновременно и центром эндемизма. Здесь обитают 6 эндемичных видов, причём два (*Zamenis persicus* и *Montivipera latifii*) – узкие эндемики Эльбурса.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100282-2.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТРЕХ ШИРОКОАРЕАЛЬНЫХ ВИДОВ КЛОПОВ-СЛЕПНЯКОВ (INSECTA: HETEROPTERA: MIRIDAE: MIRINAE)

А.А. Намятова, П.А. Джелали, В.Д. Тыц, А.А. Попков

Широкоареальные виды, в том числе вредители, обладают адаптациями к флуктуациям климата, хорошо приспосабливаются к разным условиям, и считается, что рост температур должен вести к увеличению их популяций и размеров ареалов. Поскольку климатические модели предсказывают в ближайшем будущем рост температур в разных регионах Земли, включая Палеарктику, возникает вопрос, действительно ли широкоареальные виды будут расширять свои ареалы в связи с такими изменениями.

Для нашего исследования мы выбрали три вида клопов-слепняков семейства Miridae из трибы Mirini: *Liocoris tripustulatus* Fabricius, *Lygocoris pabulinus* Linnaeus и *Lygus punctatus* Zetterstedt. Все они имеют обширные ареалы в Европе и Азии, однако они отличаются по распространению. *Liocoris tripustulatus* известен в основном из Западной Палеарктики и не заходит восточнее Алтая. *Lygus punctatus* – бореальный транспалеаркт, и в Европе живет в основном на севере. *Lygocoris pabulinus* тоже транспалеаркт, но обитает в более южных регионах европейской части, избегая засушливых участков.

Монофилия всех трех видов была протестирована с помощью морфологических данных и цитохром-с-оксидазы субъединицы 1 (COI). Для каждого вида был сформирован набор данных из четырех источников: (1) коллекция Зоологического института, (2) электронный ресурс iNaturalist, (3) предыдущие публикации по изучаемым видам, (4) данные из Генбанка по последовательностям изучаемых видов. Климатические ниши были построены с помощью Maxent и спроецированы на следующие временные периоды: последний межледниковый период (115000–130000 лет назад), пик последнего ледникового периода (19000–29000 лет назад), середина голоцена (6000 лет назад) и 2070 год. Площади благоприятных климатических условий для видов были рассчитаны с помощью QGIS. Переменные, которые вносят наибольший вклад в климатические модели, были вычислены с помощью Maxent. Переменные, которые вносят наибольший вклад в показатели распространения видов и потенциально ограничивают их ареалы, были вычислены с помощью метода главных компонент и линейной модели.

Результаты показали, что у всех трех видов разная динамика площадей благоприятных условий и, следовательно, возможного распространения, и ни у одного из видов она не совпадала полностью с изменением температур. К 2070 году только *L. tripustulatus* может быть распространен намного шире, чем сейчас, а для *L. pabulinus* и *L. punctatus* климат в Европе к этому времени будет менее благоприятным, чем сейчас. Все виды будут увеличивать свое распространение в Азии и в полярных регионах. Все они отличаются по переменным, вносящим наибольший вклад в климатические модели. На различия в распространении между видами значительно влияют как температуры, так и осадки.

Исследование было поддержано грантом Российского научного фонда № 23-24-00417.

НОВАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИЗВЕСТКОВОГО СКЕЛЕТА ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МИКРОТОМОГРАФИРОВАНИЯ И ПЕРВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫЕ С ЕЕ ПОМОЩЬЮ

Е.А. Нефедова

Одним из основных таксономических признаков у губок является строение их минерального скелета. Классический способ его изучения, выполнение толстых парафиновых срезов, требует сложного оборудования, навыков очистки препарата от обломков спикул и больших затрат времени. С появлением компьютерной микротомографии методику такого исследования казалось возможным сильно упростить и ускорить. Однако обнаружилось, что микротомографирование легко использовать только при изучении губок с кремнийорганическим скелетом. Известковых включений внутри объекта томограф «не видит». С его помощью было сделано лишь одно описание известковой губки (Voigt et al., 2018), причем томографические снимки оказались настолько неинформативными, что этот метод позднее не использовался.

Нам удалось разработать методику подготовки препарата, позволяющую сделать «видимыми» для томографа известковые спикулы внутреннего скелета. В основу этой методики положено широко известное явление повреждения или полного растворения известковых объектов, например, раковин моллюсков, при хранении

в формалине. Оказалось, что продукт взаимодействия формалина и карбоната кальция обладает большей рентгеновской плотностью, чем окружающие его ткани и вследствие этого становится непрозрачен для микротомографа.

Построенная нами трехмерная компьютерная модель скелета известковой губки оказалась информативнее, чем реконструкции, получаемые при использовании парафиновых срезов. Это позволило сделать несколько наблюдений относительно изменения строения скелета радиальной камеры известковой губки рода *Suson* в процессе роста. В частности, нам удалось наглядно показать, что сначала формируется скелет дистального конуса и атриальной стенки, а стенка самой радиальной камеры первое время лишена скелета.

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КАТЕХОЛАМИНЕРГИЧЕСКОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ХОПЛОНЕМЕРТИН

С.А. Петров, О.В. Зайцева

Немертины (тип *Nemertea*) – червеобразные животные, типичные представители бентоса морей и океанов, и только единичные их виды обитают в пресных водах и на суше. Это активные хищники, обладающие способным выворачиваться наружу мускулистым органом – хоботом, вооруженным у представителей моностилиферных хоплонемертин острым кальцинированным стилетом. Моностилиферные хоплонемертины являются по современным представлениям одним из самых больших отрядов немертин, в котором выделяют более 100 родов (Chernyshev, 2011). Однако систематика монстилифер на уровне семейств на данный момент до конца еще не разработана. Организация нервной системы немертин, включая и хоплонемертин, остается недостаточно исследованной, хотя уже имеются сведения по распределению у отдельных видов немертин серотонин-, FMRFамид- и нейротензин-иммунореактивных структур, катехоламинов (КА), NADPH-диафоразы и ацетилхолинэстеразы – топографических маркеров, соответственно, нейромодулятора NO и ацетилхолина (Zaitseva et al., 2007, 2009, 2019, 2020; Zaitseva, Petrov, 2013). Особый интерес в плане изучения нервной системы беспозвоночных представляют КА, поскольку они широко распространены не только в их центральной (ЦНС), но и в периферической нервной системе и, по всей видимости, играют важную роль в развитии стресса и формирование адаптационных реакций.

Целью настоящей работы стало выявление особенностей и общих закономерностей распределения КА у ряда представителей хоплонемертин. В качестве объектов исследования были взяты 5 видов: 3 вида обитающих в Белом море (*Tetrastemma candidum*, *Amphiporus lactiflorens*), 2 вида живущих в Чёрном море (*Ototyphlonemertes* sp. и *Tetrastemma bacescui*) и 1 вид из Охотского моря (*Emplectonema gracile*). Для выявления КА использовали гистохимический метод вызванной флуоресценции с помощью глиакиловой кислоты. Полученные препараты анализировали с помощью флуоресцентного микроскопа Leica DMR IW и сканирующего лазерного микроскопа Leica TCS SP5 центра коллективного пользования «Таксон» ЗИН РАН (<http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/>). Катехоламинсодержащие (КАс) элементы у всех исследуемых видов немертин присутствуют в значительном количестве как в периферической, так и в центральной нервной системе, состоящей из двух пар церебральных ганглиев и соединенной с ними пары боковых нервных стволов. По всей длине нервных стволов располагаются одиночные КАс нейроны, а в церебральных ганглиях они чаще всего образуют небольшие скопления, но встречаются и одиночные КАс клетки. Их распределение и количество в церебральных ганглиях различается и носит в определенной степени видоспецифичный характер. КАс нейроны ЦНС иннервируют сенсорные органы, стенку тела, хобот и пищеварительный тракт. В эпителии этих структур выявлены многочисленные диффузно расположенные первичночувствующие КАс рецепторные клетки, аксоны которых образуют базисэпителиальные и субэпителиальные нервные сплетения и формируют уходящие в ЦНС нервы. Особенно много рецепторных клеток присутствует в эпителии фронтальной части головной лопасти. Отдельные КАс рецепторные клетки выявлены в церебральных сенсорных органах. Обнаружена КАс иннервация статоцистов у *Ototyphlonemertes* sp., единственного вида из исследованных немертин, имеющего статоцисты. Распределение КАс рецепторных клеток позволяет предположить их механосенсорную функцию. Для исследованных хоплонемертин выявлена упорядоченная и сложно организованная КАс иннервация хоботного аппарата, особенно в области расположения стилетов. Полученные нами данные дополняют представления об организации нервной и сенсорных систем немертин.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100281-5.

ГЕНЫ И СКРЫТЫЕ ЧЕРТЫ ФЕНОТИПА ПРОТИСТОВ

И.Р. Поздняков, Е.Н. Волкова

Одной из целей геномных исследований которых является определение возможных скрытых черт фенотипа на основе генов, найденных в геноме, с возможными выводами о механизмах функционирования клетки и о путях эволюции. Наши исследования вели по трем основным направлениям.

1. Трансмембранные транспортёры афелид (*Opisthokonta*, *Holomycota*, *Aphelida*).

Были исследованы белки суперсемейства MFS, переносящие различные субстраты через клеточную мембрану. Изначальная гипотеза состояла в том, что афелиды, как группа, сестринская грибам, могут иметь некоторое усиление осмотрофных свойств грибного типа, что указало бы на начало формирования специфических грибных признаков уже у общего предка афелид и грибов.

Анализ предсказанных протеомов афелид показал, что в них отсутствуют белки суперсемейства MFS, характерные для грибов. Среди белков семейства SP (*Sugar Porters*), свойственном всем клеточным организмам, у афелид присутствует только гомологи общепистоконтных вариантов. Количество SP паралога в геноме афелид такое же, как у одноклеточных свободноживущих *Opisthokonta*, и близко к минимальным значениям для представителей этой супергруппы. Таким образом, нами сделан вывод, что афелиды не имеют никакого усиления осмотрофных способностей, по сравнению со свободноживущими родственными группами. Специфичная эволюция грибов началась позже разделения предков грибов и афелид.

2. Белки Agr2/3-комплекса *Amoebozoa*.

Проведено сравнение аминокислотного состава белков Agr2/3-комплекса различных представителей *Amoebozoa* в свете уже имеющейся информации о структуре этого комплекса. Показано наличие консервативных участков, являющихся сайтами межбелковых взаимодействий. Внутри отмеченных участков существуют абсолютно неизменные аминокислоты, очевидно ключевые для взаимодействия. Для окружающих их аминокислот показаны ограниченные таксон-специфичные замены. Вероятно, данные замены влияют на характер связи между субъединицами Agr2/3-комплекса, и, соответственно, на структуру актинового скелета и далее на паттерны движения.

Следующим этапом исследования планируется *in silico* моделирование влияния выявленных аминокислотных замен на межбелковые взаимодействия, проведённое с применением нейросетей.

3. Поиск эволюционных корней Wnt-сигнального пути.

Wnt сигнальный путь – сложная система последовательно взаимодействующих белков, управляющая клеточной дифференцировкой. Она присутствует у всех Metazoa, и отсутствует у всех одноклеточных Opisthokonta. нами проведён сравнительный анализ факторов транскрипции HMG-B, к которым относятся белки LEF, работающие на финальном этапе Wnt сигнального пути в комплексе с белком β -катенином. В анализ были включены представители всех групп внутри супергруппы Opisthokonta, а также Amusozoa и Amoebozoa. До сих пор белки, близкие родственные белкам LEF, были выявлены только у многоклеточных животных и грибов.

Таким образом, анализ показал, что факторы транскрипции, родственные LEF, существовали уже у общего предка Opisthokonta и Amoebozoa. Подсемейство факторов транскрипции, включающее белки LEF, возникло у общего предка Opisthokonta, и у него же должно было появиться взаимодействие между родственными LEF белками и β -катенином. Это означает, как минимум, что последний, внутриядерный этап Wnt сигнального пути сформировался на основе молекулярных механизмов, существовавших у общего одноклеточного предка группы Opisthokonta.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-00508.

ФАЛЛЕН, ЦЕТТЕРШТЕДТ И ОСТЕН-САКЕН: ТРИ ВЫДАЮЩИХСЯ ЭНТОМОЛОГА И ОДНА КНИГА

А.А. Пржиборо, Ю.А. Дунаева, А.Ч. Понт

Уникальный экземпляр книги К.Ф. Фаллена “*Diptera Sveciae*” был обнаружен нами в стенах библиотеки Зоологического института РАН около 10 лет назад. Карл Фредрик Фаллен (Carl Fredrik Fallén, 1764–1830) – выдающийся шведский энтомолог, внесший большой вклад в изучение двукрылых. Его работа, получившая известность как “*Diptera Sveciae*”, издавалась с 1814 по 1826 гг. в виде отдельных выпусков, посвященных различным группам двукрылых.

Обнаруженный нами экземпляр книги – это владельческий конволют, собранный из 20 аллигатов (отдельных изданий с титульными листами). После первой части книги (включающей разделы, опубликованные в 1814–1817 гг.) помещён рукописный индекс видов, описанных в ней. Судя по почерку и другим деталям, индекс написан самим Фалленом вскоре после издания последнего из выпусков, относящихся к первой части.

Книга содержит огромное число рукописных заметок (маргиналий, вставок в текст и т.д.), сделанных рукой другого выдающегося шведского биолога – Иоганна Вильгельма Цеттерштедта (Johann Wilhelm Zetterstedt, 1785–1874), который, как и Фаллен, был крупнейшим диптерологом своего времени. Очевидно, что эта книга была личным рабочим экземпляром Цеттерштедта. Судя по датам в рукописных заметках (1816–1843) и по их содержанию, книга служила своеобразным черновиком и использовалась Цеттерштедтом при работе над его основными трудами по двукрылым, в частности, над “*Diptera Scandinaviae disposita et descripta*” (1842–1854).

Кроме заметок, в конволюте находится (вплетена в него) рукопись Цеттерштедта, посвященная роду *Callicera* (Syrphidae), который не упомянут у Фаллена. Текст рукописи отчасти совпадает с разделом по *Callicera* в “*Diptera Scandinaviae ...*”, то есть очевидно, что рукопись использована в работе над ним. Аналогичные, но более краткие рукописные заметки Цеттерштедта касаются многих родов и видов, включая таксоны с его авторством. Обложка конволюта и страницы, помещенные до начала первого аллигата, также содержат рукописные тексты и заметки Цеттерштедта, включая расшифровки цветовых кодов к сборам двукрылых – как самого Цеттерштедта, так и другого шведского диптеролога, Карла Бохемана (Carl Heinrich Boheman, 1796–1868).

Неясной остается история попадания этой книги в Зоологический институт. На некоторых титульных листах конволюта есть карандашные заметки, сделанные почерком Роберта Романовича Остен-Сакена (Carl Robert Osten Sacken, 1828–1906) – выдающегося российского энтомолога и дипломата. Содержание этих заметок свидетельствует о том, что в какой-то период времени книга принадлежала Остен-Сакену. Вероятно, он приобрел книгу во время путешествий по Европе и привёз её в Петербург.

Уникальный экземпляр книги Фаллена имеет значительную историческую ценность, а рукописные заметки Цеттерштедта, возможно, будут полезны специалистам при анализе его работ.

ИНВАЗИВНЫЕ ВИДЫ НЕМАТОД ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД: ТРАНСМИССИЯ, СПЕЦИФИЧНОСТЬ, ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РИСКА

А.Ю. Рысс

Фитонематоды не попадают в поле зрения карантинных служб, пока внезапно не сменяют роль оппортунистического паразита на патогена истинного, вызывающего гибель лесонасаждений. Для модели прогноза вероятной смены роли в новых эпифитотиях эндемичными видами стволовых нематод использован пример истории карантинного вида патогена хвойных *Bursaphelenchus xylophilus*, а также теоретические основы учения природной очаговости трансмиссивных паразитарных болезней Е.Н. Павловского, анализа биологических инвазий международной Конвенции по биологическому разнообразию (Convention on Biological Diversity, CBD, <https://www.cbd.int/>), и приемы мониторинга «дозорных» деревьев-интродуцентов – мишеней для аборигенных вредителей-ксилобионтов. Для превращения в истинного патогена эндемичный слабопатогенный фитопаразит должен отвечать следующим критериям: высокой скоростью репродукции (определяется *in vitro*); специфичностью к региональным растениям-хозяевам и жукам-переносчикам на уровне рода (выявляется по базе данных находок); поликсенному энтомохорному циклу с гибкой специфичностью к переносчикам; филогенетической близости к уже известным карантинным патогенам, т.е. к роду *Bursaphelenchus*.

Многолетний мониторинг выявил 9 умеренно эндемичных видов *Bursaphelenchus* и близких родов сем. Aphelenchoididae. Были проанализированы маршруты их трансмиссии и смена переносчиков и хозяев в антропогенном ландшафте. Также было выявлено 5 видов нематод – патогенов насекомых, потенциально пригодных, при доработке технологий культивирования, для биоконтроля переносчиков нематодных и грибных инфекций.

На примере филогений клад рода *Bursaphelenchus* реконструирована эволюция трансмиссивных стадий и специфичности к насекомым-переносчикам и деревьям-хозяевам. В ходе фитотестов оценена скрытая специфичность нескольких видов *Bursaphelenchus* к растениям-хозяевам (методом исключения переносчика), и доказано, что круг экспериментальных хозяев шире природной специфичности видов нематод. Это указывает на потенциальную опасность случайного

заноса трансмиссивных дауер-стадий гельминтов фитофагами экспериментальных («дозорных») деревьев-хозяев в лесных и парковых насаждениях. При обработке полевых древесных образцов ставились тестовые культуры для получения половозрелых патогенных нематод из личинок-дауеров, по которым нельзя идентифицировать виды. Это подчеркивает необходимость паразитологического обследования лесонасаждений, включающего лабораторное культивирование образцов и молекулярную идентификацию.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 122031100260-0, с использованием Уникальной фондовой коллекции ЗИН РАН, оборудования ЦКП «Таксон» и при поддержке грантов РФФИ №№ 20-04-00569 и 20-34-90101.

СЕВЕРНАЯ ГРАНИЦА АРЕАЛОВ ЕВРОПЕЙСКОГО ЛЕСНОГО (*IXODES RICINUS* L.) И ТАЁЖНОГО (*IXODES PERSULCATUS* SCH.) КЛЕЩЕЙ (ACARI: IXODIDAE) НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Е.П. Самойлова, Л.А. Григорьева, Т.Н. Осипова

Европейский лесной и таёжный клещи – переносчики возбудителей трансмиссивных инфекций, для понимания эпидемиологии которых важно знать границы их ареалов. На территории России *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus* на севере доходят до Карелии, достигая 63° с.ш. Многочисленные находки клещей выше общепринятых северных границ ареалов побуждают обдумать причины данного явления.

Территория распространения биологического вида определяется набором абиотических и биотических факторов, необходимых для его существования. Сумма активных температур (САТ) выше +10 °С и продолжительность периода (ПП) с этими температурами являются основными факторами, ограничивающими распространение клещей на север. Исходя из САТ, предложенных Э.И. Коренбергом (1979) положение северной границы определяет по 63° с.ш. (*I. persulcatus*: 1410–3630 °С, *I. ricinus*: 1460–3910 °С).

Рассмотренный в работе район (58° 57'–69° 93' с.ш.; 27° 00'–49° 56' в.д.) расположен в Атлантической области субарктического и в Атлантико-арктической области умеренного поясов. По данным 134 метеостанций исследованы закономерности пространственного распределения САТ выше 10 °С и ПП с 1966 по 2022 гг. Значения характеристик

уменьшаются в широтном направлении, т.к. зависят в большей степени от радиационного баланса. Широтная зональность в распределении САТ и ПП может нарушаться. Диапазон среднемноголетних САТ выше 10 °С: 167.8–1752.1 °С. Распределение характеристик по территории носит зональный характер с чертами аazonальности. На отдельных участках севернее полярного круга САТ выше 10 °С: 800–1200 °С. ПП с температурой выше 10 °С (29–137 дней) уменьшается в широтном направлении. На отдельных территориях севернее полярного круга ПП с температурой выше 10 °С составляет 80–100 дней. Климатические условия по северной границе таёжной зоны (63–68° с.ш.), приближающейся к северному полярному кругу, неоднородны. Темнохвойная тайга перемежается с участками мелколиственных пород, а антропогенное воздействие приводит к увеличению освещенности и изменению природных сообществ. Условия существования популяций клещей определяются биотопами с подходящими параметрами микроклимата, которые распространены мозаично. Теплообеспеченность в районах, расположенных севернее полярного круга, может быть не меньше, чем в более южных районах привычного обитания иксодовых клещей.

Изменение границ ареалов переносчиков возбудителей трансмиссивных инфекций и увеличение частоты этих заболеваний среди людей принято связывать с повышением температуры вследствие климатических изменений на планете. Однако глобальное потепление проявляется неравномерно; отчетливо выраженное на территории России, оно имеет ряд особенностей, зависящих от ландшафта. Для оценки климатических изменений в конкретном регионе необходимо рассматривать многолетний ход метеохарактеристик, данные о которых могут быть получены на ближайшей к району исследования метеостанции. Причины изменения границ ареалов переносчиков, вероятно, обусловлены не только незначительными изменениями климатических факторов. Для этого требуется и формирование биотопов, отвечающих требованиям распространяющихся видов, и такие условия в хорошо прогреваемых участках на территории северной тайги есть. Можно предположить, что северная граница ареалов европейского лесного и таёжного клещей располагается сейчас выше 63° с.ш.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 1021051603202-7).

МОРСКАЯ АФЕЛИДА: ПЕРВОЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА И ТАКСОНОМИЯ

А.О. Селюк^{1,2}, С.А. Карпов^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет;

² Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

Афелиды – одноклеточные паразиты водорослей, чей жизненный цикл напоминает таковой у хитридиевых грибов *sensu lato*, когда расселительная стадия в виде зооспоры инцистируется на поверхности водоросли, затем циста прорастает внутрь хозяина и, питаясь сапротрофно, превращается в спорангий. Созревший спорангий замыкает цикл, образуя многочисленные зооспоры. Афелиды, однако, не образуют сапротрофного спорангия, и после инцистирования зооспоры циста так же прорастает в хозяина, но все ее содержимое переходит внутрь клетки водоросли. Попавшая в цитоплазму амеба является трофонтом, который полностью выедает (фагоцитирует) содержимое водоросли и превращается в многоядерный плазмодий. Плазмодий делится на одноядерные клетки (зооспоры), которые покидают опустошенную клетку хозяина и заражают другие водоросли.

Таксономическое положение афелид долгое время оставалось неясным, хотя в ряде работ начала 20-го века авторы предполагали родственные связи афелид с низшими грибами. Сравнительно недавно методами мультигенной филогении было подтверждено, что афелиды представляют собой сестринскую группу всем грибам.

К сожалению, афелиды все еще плохо изучены. К настоящему времени описано всего 4 рода и примерно 20 видов, однако, судя по метагеномным данным, группа обладает колоссальным разнообразием и распространена повсеместно, как в пресных и морских водах, так и в почвах. Правда, из морских проб был описан лишь один вид *Pseudaphelidium drebesii*, паразитирующий на диатомовой водоросли *Thalassiosira punctigera*, но он не был изучен молекулярно-филогенетическими методами.

В августе 2023 г. мы собрали пробы с литорали Белого моря у Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова Московского государственного университета и получили изолят нового представителя афелид. Исследование его жизненного цикла показало, что цисты образуются не только для проникновения в клетку хозяина,

но и для выхода из нее. После деления плазмодия зооспоры сначала инцистируются, а потом прорастают сквозь толстую стенку водоросли наружу, чтобы покинуть клетку хозяина. Эта особенность беломорского вида делает его похожим на *P. drebesii*, у которого также происходит инцистирование только что образованных зооспор, но вне хозяина. Помимо этого, мы описали два разных поколения зооспор: бесполое, как результат деления плазмодия, и, предположительно, половое, как результат прорастания покоящейся споры.

Впервые для морских афелид мы получили сиквенсы 18S рДНК двух беломорских изолятов. Молекулярно-филогенетический анализ показал, что они находятся внутри клады, представленной лишь природными последовательностями афелид. Примечательно, что хотя расстояние между местами взятия проб, откуда были выделены эти два изолята, составляет примерно 700 метров, их гены 18S рРНК оказались идентичны друг другу, что свидетельствует об их принадлежности к одному (новому) виду, который будет представлять и новый род.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100260-0 и поддержана грантом Российского научного фонда № 21-74-20089.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ СЛОЖНОЙ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ТРЕХ ВИДОВ ШИРОКОКРЫЛЫХ МОЛЕЙ (LEPIDOPTERA, OECOPHORIDAE)

С.Ю. Синева, В.А. Лухтанов, А.В. Гагарина

Во второй половине XIX века были описаны три вида молей, систематическое положение которых долгое время оставалось неясным. Для первого из них, *Gelechia pudorina* Wocke, 1857, типовым местообитанием указаны окрестности польского города Вроцлава в Центральной Европе, для двух других, *Incurvaria insignis* Christoph, 1882 и *Pantelamprus staudingeri* Christoph, 1882 – окрестности Владивостока на юге Приморского края России. В дальнейшем вид *G. pudorina* был выделен в монотипический род *Deuterogonia* Rebel, 1901 в составе семейства Oecophoridae. Вид *I. insignis*, описанный в семействе Incurvariidae, продолжал «числиться» в нем, хотя и под вопросом, вплоть до 2011 г. Вид *P. staudingeri* был изначально отнесен к монотипическому

роду *Pantelamprus* Christoph, 1882 в составе семейства Xyloryctidae, где и оставался до 2019 г. Таким образом, рассматриваемые виды считались представителями трех разных семейств из двух неродственных надсемейств, Gelechioidea и Incurvarioidea.

В процессе подготовки первого Каталога чешуекрылых России возникла необходимость уточнения систематического положения многих видов, встречающихся на территории нашей страны, в том числе и перечисленных выше. В результате тщательного морфологического изучения коллекционного материала, включая типовый, удалось показать, что все три вида относятся к одному семейству ширококрылых молей (Oecophoridae). При этом для *Incurvaria insignis* был описан новый монотипический род *Paradasycera* Lvovsky & Sinev, 2011.

Вместе с тем, положение родов *Deuterogonia*, *Paradasycera* и *Pantelamprus* в составе семейства Oecophoridae продолжало оставаться дискуссионным, а перспективы выявления их филогенетических отношений неопределенными из-за крайней редкости представителей двух последних: до самого последнего времени они были известны лишь по голотипам, а свежий материал, пригодный для углубленного сравнительно-морфологического и молекулярно-генетического анализа, отсутствовал. Ситуация изменилась несколько лет назад, когда первому автору в ходе двух экспедиций в 2016 и 2017 гг. на южный Сихотэ-Алинь в Приморском крае удалось обнаружить и собрать несколько бабочек этих видов.

Возможность наблюдать представителей всех трех видов в природе позволила установить, что у них есть характерная общая особенность, а именно, крайне своеобразная поза покоя с приподнятыми и сложенными в горизонтальной плоскости крыльями. У всех же прочих представителей семейства Oecophoridae крылья складываются домиком и плотно прилегают к телу. В связи с этим была выдвинута гипотеза о вероятном близком родстве трех таксонов, совершенно не очевидная при анализе лишь признаков морфологии генитального аппарата самцов и самок. Для проверки этой гипотезы по каждому из видов А.В. Гагариной были получены нуклеотидные последовательности одного митохондриального (*COI*) и трех ядерных генов (*RpS5*, *EF1-alpha* и *wingless*). Филогенетический анализ, проведенный В.А. Лухтановым, убедительно подтвердил гипотезу о близком родстве рассматриваемых таксонов, которые образуют хорошо поддержанную кладу на общем древе ширококрылых молей и должны рассматриваться в составе подсемейства Deuterogoniinae, ранее считавшегося монотипическим.

Таким образом, использование комплексного подхода, включающего проверку выдвигаемых гипотез о филогенетических отношениях с использованием разных групп признаков, позволил решить сложную таксономическую проблему, существовавшую около полутора веков.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100272-3.

ТЕМПЕРАТУРА И ЗООПЛАНКТОН В ПРИБРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ – 60 ЛЕТ ИЗМЕНЕНИЙ

В.В. Смирнов, Н.В. Усов

В последние десятилетия наблюдаются значительные изменения климата, которые выражаются в повышении температуры воздуха у поверхности земли и воды в Мировом океане. Арктика – один из регионов, где изменения климата выражены наиболее сильно. Особенно ярко влияние климата должно проследиваться в динамике планктонных организмов, ввиду краткости их жизненных циклов. Однако климатические изменения не мгновенны и занимают многие годы, и для выявления столь долгих флуктуаций необходимы длительные наблюдения за биотой и параметрами среды. Такие наблюдения ведутся с 1961 г. на Беломорской биологической станции ЗИН РАН. Они включают измерения температуры воды на разных горизонтах и отбор проб зоопланктона с частотой раз в 10 дней в безледный период и раз в месяц со льда. В данной работе мы рассматриваем период с 1961 по 2021 гг.

Исследовалась динамика температуры воды, численность и биомасса зоопланктона над сезонным термоклином и под ним; в зимние месяцы, с января по апрель, расчеты вели для всего столба воды в связи с отсутствием термоклина. Анализ динамики температуры воды над термоклином показал наличие наиболее выраженных достоверных положительных трендов в мае, июле, ноябре и декабре. Более того, даже недостоверные тренды в другие месяцы также имеют коэффициент регрессии выше нуля. Намного более выраженные изменения наблюдались в слое под термоклином – там во все месяцы, когда существует термоклин, изменения достоверные и положительные. Наиболее высокий прирост температуры выявлен в мае, ноябре и декабре. Кроме того, отмечено смещение сроков весеннего прогрева

(начало гидрологических весны и лета) в верхнем 25-метровом слое воды на более раннее время, примерно на три недели.

В связи с описанными изменениями температуры воды наиболее заметные изменения в зоопланктоне произошли в его фенологии: наблюдалось смещение сроков развития массовых видов Copepoda на более раннее время. Так, молодь арктического *Calanus glacialis*, эврибионтного *Microsetella norvegica* и бореального *Temora longicornis* появляется в 2010-х годах на три с лишним недели раньше, чем в 1960-х. При этом наблюдался рост суммарной численности *C. glacialis* и *M. norvegica* и снижение численности эврибионта *Oithona similis* и бореальных *Acartia* spp. во всем столбе воды.

В динамике обилия зоопланктона также наблюдаются долговременные тренды, которые можно объяснить многолетними изменениями температуры воды в районе исследований.

О СООТНОШЕНИИ РАПИЧЕСКОГО И ОСМОТИЧЕСКОГО В СОЛЕНОСТНОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ ЭВРИГАЛИННОГО ВИДА *PARAMECIUM NEPHRIDIATUM*

А.О. Смуров, В.В. Хлебович, Е.В. Козминский, И.С. Плотников

Известно, что фактор солёности имеет двойственную природу. Сумма растворённых частиц, безотносительно к их природе, действует как фактор *осмотический*, а специфика действия отдельных ионов – как фактор *рапический* (Pora, 1939, 1969). Ранее проводились исследования раздельного воздействия осмотического и рапического составляющих морской воды на беломорских беспозвоночных (Хлебович, 1973, 1976). Опыты по исследованию активности беломорских литторин в растворах маннитола и морской воды показали, что при высоких солёностях часть осмотического давления у моллюсков обязана определяться присутствием солей.

В нашей работе был использован клон инфузорий SR98-2 *Paramecium nephridiatum*, который был выделен из популяции этого вида с литорали острова Средний (Чупинская губа, Белое море) в 1998 г., и проведены два варианта опытов. Первый вариант – перенос парамеций в границах толерантного диапазона (из пресной среды, из популяции акклимированной к 5‰ и 10‰) в смеси растворов морской воды и маннита, осмотическая концентрация которой соответствовала 10‰. Второй вариант – перенос к границам толерантного диапазона.

Инфузорий, акклимированных к 5‰, переносили в смесь растворов морской воды и маннита, осмотическая концентрация которой соответствовала 25‰; парameций, акклимированных к 10‰, переносили в смесь растворов морской воды и маннита, осмотическая концентрация которой соответствовала 35‰. После переноса в течение четырех дней ежедневно определяли прирост клеточной популяции.

При переносе в границах толерантного диапазона положительный прирост популяции наблюдался при замене маннитолом не более 8.5‰ морской воды. Во время переноса из 5‰ в 25‰ положительный прирост популяции возможен вплоть до сочетания 10‰ маннита плюс 10‰ морской воды; при увеличении количества маннита происходило постепенное падение прироста. При переносе инфузорий, акклимированных к 10‰, в сочетании морской воды и маннита, общая осмотичность которых составляла 35‰, прирост количества клеток относительно начального был отрицательным почти во всех случаях (частичная гибель клеток). Максимальное увеличение количества клеток (в 1.2 раза) произошло при замене 2‰ морской воды.

При переносе инфузорий в смеси маннита и морской воды в пределах толерантного диапазона было показано, что минимально необходимое количество воды океанического состава составляет около 2‰ для акклимированных к пресной среде, 3‰ для акклимированных к солености среды 5‰ и, для уже акклимированных к 10‰, не более 1‰. Таким образом, минимально необходимое количество ионов воды океанического состава при переносе в пределах толерантного диапазона находится на уровне 2–3‰.

По итогам второй части экспериментов показана зависимость количества необходимых ионов морской воды от солености акклимации и верхней границы толерантного диапазона для значений тестовой осмотической концентрации в диапазоне 20–35‰. Несмотря на малое количество наблюдений, угловой коэффициент равный 2.06 ± 0.14 ($p < 0.05$) достоверен (квадрат коэффициента корреляции равен 0.99 ($p < 0.05$)).

Полученные результаты показывают, что при низких соленостях среды, при которой у инфузорий происходит гиперосмотическая регуляция цитозоля, необходимое количество ионов почти не зависит от изменения солености, и процессы ионной и осмотической регуляции не совпадают. При высоких соленостях, где для цитозоля клетки характерна осмоконформность, происходит совпадение процессов осмотической и ионной регуляции.

**СИМПАТРИЧЕСКИЕ ВИДЫ КУКУШЕК –
ОБЫКНОВЕННАЯ *CUCULUS CANORUS* (LINNAEUS, 1758)
И ГЛУХАЯ *CUCULUS OPTATUS* (GOULD, 1845) МИГРИРУЮТ
НА РАЗНЫЕ КОНТИНЕНТЫ**

Л.В. Соколов, А.Ю. Синельщикова, М.Ю. Марковец

Гнездовая часть ареала номинативного подвида обыкновенной кукушки *C. canorus canorus* занимает большую часть территории Палеарктики – от Португалии до Чукотки. Известно, что область зимовок европейских кукушек располагается в Африке к югу от Сахеля, но то, какими путями мигрируют и где конкретно зимуют птицы, стало известно лишь недавно. Маршруты миграций и районы зимовок азиатских популяций этого подвида обыкновенной кукушки практически не изучены. Область размножения глухой кукушки охватывает большую часть таежной зоны Евразии, но пути миграции и районы зимовки в Юго-Восточной Азии и Австралию также изучены крайне слабо. Использование передатчиков весом 4–5 г позволило получить уникальные данные по срокам и путям миграции кукушек обоих видов. В России мы первыми начали активно метить обыкновенных кукушек спутниковыми передатчиками: в 2015–2019 гг. на Куршской косе Балтийского моря, в 2017 г. на Камчатке и в 2018–2019 гг. в Хакасии. В 2021 и 2022 гг. в рамках программы «Икарус» в Томской и Амурской областях, Красноярском крае, Прибайкалье и о. Сахалин метили обыкновенных и глухих кукушек. Полученные результаты показали, что маршруты осенней миграции и районы зимовки обыкновенных кукушек из разных популяций существенно различаются, хотя все они летят зимовать в южную часть Африки. Балтийские популяции мигрируют осенью через Балканский п-ов на юг, пересекая Средиземное море и Сахару, иногда без остановки пролетая 3–4 тыс. км. В зоне Сахеля птицы останавливаются почти на месяц, после чего летят в Анголу на зимовку. Путь осенней миграции составляет около 8000 км (110–120 суток). Популяции из Томской области и Хакасии летят в Африку через Казахстан и Каспийское море, Иран, Ирак и Саудовскую Аравию. Далее они мигрируют через Судан, Эфиопию, ДР Конго к местам зимовки в Замбии и Зимбабве. Весной томские кукушки летят сходным с осенью путем. Кукушки, помеченные в районе оз. Байкал, мигрировали осенью разными путями. Один самец полетел на юго-запад через Монголию, Казахстан, Иран, Йемен, Эфиопию, Кению,

Танзанию и зимовал в Замбии. Другие байкальские кукушки полетели сперва на юг и юго-восток через пустыню Гоби до Китая, затем на запад через Мьянму, Бангладеш в Индию, после чего, перелетев Аравийское море, достигли африканского континента (Сомали). Далее они полетели через Эфиопию и Кению, в Танзанию, Зимбабве и Мозамбик, где и зимовали. Обыкновенные кукушки с Камчатки перелетают Охотское море и мигрируют через Приморье в Китай, где останавливаются на 32–52 суток, после чего летят в Индию, где тоже задерживаются почти на месяц (в октябре–ноябре), затем летят через Аравийское море (около 3000 км, 3 суток) в Сомали. Далее через страны восточной Африки летят зимовать в Ботсвану и Намибию. Путь осенней миграции камчатских птиц составляет около 17000 км (106–123 суток). Весной они возвращаются на Камчатку сходным маршрутом, только значительно быстрее, за 42 суток. Глухие кукушки, размножающиеся в Томской области, Красноярском крае и Бурятии, летят осенью на юго-восток через Китай, затем пересекают Южно-Китайское море, Филиппины и зимуют либо в Индонезии, либо на севере Австралии, пролетая около 7000–8000 км. Птицы, размножающиеся на о. Сахалин, во второй половине августа прилетают в Японию, где держатся около 20 суток, далее отправляются через Тихий океан на зимовку в Папуа Новую Гвинею. За 4 суток одна из птиц преодолела около 4000 км над открытым океаном, а весь ее путь составил 5600 км (26 суток). Результаты масштабного исследования показали, что у каждой популяции обыкновенной кукушки на протяжении ее огромного ареала существуют свои пути миграции и районы зимовок (сайт www.movebank.org), которые, по-видимому, отражают исторические пути расселения вида из района происхождения на африканском континенте. Глухая кукушка, внешне очень похожая на обыкновенную, мигрирует совершенно другими путями и зимует в Юго-Восточной Азии и Австралии, а не в Африке.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100261-7.

СОЕДИНЯЯ ЗАПАД И ВОСТОК: ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПАЛЕАРКТИЧЕСКИХ ПТЕРОМАЛИД (HYMENOPTERA, CHALCIDOIDEA: PTEROMALIDAE)

Е.В. Целих

Pteromalidae – одно из самых сложных семейств хальцидоидных наездников, которое, согласно последним данным (Burks et al., 2022), включает в себя 424 рода из 8 подсемейств (Colotrechninae, Erixestinae, Miscogastrinae, Ormocerinae, Pachyneurinae, Pteromalinae, Sycophaginae, Trigonoderinae). Несмотря на большое разнообразие и экологическое значение, птеромалиды остаются относительно малоизученными даже в сравнительно хорошо исследованных регионах, таких как Палеарктика. Долгое время таксономические исследования семейства Pteromalidae Западной и Восточной Палеарктики проводились независимо. При этом, если для Западной Палеарктики были опубликованы обобщающие, фундаментальные труды (Graham, 1969; Vouček, Rasplus, 1991), то для Восточной Палеарктики было проведено множество ревизий и обзоров лишь отдельных таксонов или обзоры локальных фаун. Реальное разнообразие Pteromalidae в фауне Палеарктики в целом пока явно недооценено. Серьезной проблемой остается отсутствие современных ключей для идентификации хотя бы родов птеромалид этого региона. До сих пор не существует исследований, охватывающих палеарктическую фауну всего семейства, по крайней мере, на родовом уровне.

Целью нашей работы является оценка биоразнообразия, реконструкция филогении и разработка системы палеарктических Pteromalidae на основе применения молекулярно-филогенетических методов совместно с классическими методами фаунистических и таксономических исследований. Можно выделить 4 основных направления этой работы.

1. Полная ревизия родов птеромалид Западной и Восточной Палеарктики. По предварительным данным, уже более 6 восточно-палеарктических родов следует синонимизировать с западнопалеарктическими (*Angulifrons* Xiao and Huang, 2001 = *Dibrachoides* Kurdjumov, 1913; *Drailea* Huang, 1992 = *Merismus* Walker, 1833; *Golovissima* Dzhhanokmen, 1982 = *Acroclisoides* Girault and Dodd, 1915; *Habromalina* Dzhhanokmen, 1977 = *Chlorocytus* Graham, 1956; *Trichargyrus*

Dzhanokmen, 1989 = *Ischyroptyx* Delucchi, 1956; *Tumor* Huang, 1990 = *Lamprotatus* Westwood, 1833).

2. Исследование фауны Pteromalidae слабо изученных регионов Палеарктики, которые потенциально обладают наибольшим биоразнообразием (Южная Корея, Китай, Япония, Дальний Восток России). Так, за последнее время в Восточной Палеарктике выявлены 6 родов, новых для науки, четыре из которых уже описаны (*Magneclava* Tselikh, Lee & Ku, 2023; *Neomegadicylus* Tselikh, Rasplus & Ku, 2023; *Olchon* Tselikh, 2020; *Tachingousa* Tselikh, 2018), а также впервые в фауне Палеарктики отмечены представители родов *Merismomorpha* Girault, 1913 и *Uniclypea* Bouček, 1976.

3. Разработка иллюстрированного идентификационного ключа для всех 213 родов из 6 подсемейств, представленных в Палеарктике (Colotrechninae – 1; Miscogastrinae – 34; Ormocerinae – 4; Pachyneurinae – 12; Pteromalinae – 153; Trigonoderinae – 6, а также 3 рода, не отнесенных ни к одному из подсемейств).

4. Реконструкция филогенетических взаимоотношений родов Pteromalidae, разработка филогенетической гипотезы о происхождении семейства и о путях формирования его мировой фауны на основе морфологических и молекулярно-генетических данных с анализом 1250 локусов ультраконсервативных элементов ДНК (UCD).

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № 122031100272-3 при участии Жан-Ива Расплюса, Астрид Крюо (Университет Монпелье, Франция), Джэхён Ли и Док-Со Ку (Научный музей естественных врагов, Геочанг, Южная Корея).

СОДЕРЖАНИЕ

<p><i>А.О. Аверьянов, П.П. Скучас, Д.А. Слободин, А.А. Атучин, О.А. Феофанова, О.Н. Владимирова, Д.В. Немирова.</i> Первая находка цератозавра (Dinosauria, Theropoda, Ceratosauria) в России</p> <p><i>В.Р. Алексеев, Н.М. Сухих, О.А. Чабан.</i> Ожидаемые и неожиданные результаты первого исследования копепод озера Иссык-Куль с применением акваланга</p> <p><i>Г.А. Бармасова, З.И. Старунова, К.В. Шунькина, В.В. Старунов.</i> Развитие нервной системы спионида <i>Marenzelleria</i> sp.</p> <p><i>Л.Я. Боркин.</i> Виды: их аватары, кандидаты и призраки</p> <p><i>Л.Л. Войта, В.Е. Омелько, Е.П. Изварин, Ю.А. Шемякина, В.С. Никифорова.</i> Анализ динамики морфологического разнообразия современных сообществ и позднечетвертичных палеосообществ землероек Soricidae методами геометрической морфометрии.</p> <p><i>Дж. Истмэн, О.С. Воскобойникова.</i> Гвоздарь Световидова <i>Gvozdarus svetovidovi</i> – «кусользающий» вид антарктической ихтиофауны</p> <p><i>В.Д. Ганкевич, А.С. Жук, Ф.Е. Четвериков.</i> Филогенomный подход к реконструкции филогенеза фитопаразитических микроартропод: анализ митохондриальных геномов галловых клещей (Acariformes, Eriophyoidea)</p> <p><i>Ф.Н. Голенцев, Т.А. Зоренко, Т.В. Петрова, Л.Л. Войта, Л.Ю. Крючкова, Н. Атанасов.</i> Оценка эффекта «бутылочного горлышка» в изолированной популяции <i>Microtus hartingi</i> (Rodentia, Arvicolinae) из восточных Родоп (Болгария) методами интегративного анализа</p> <p><i>М.С. Голубков.</i> Влияние гидротехнических работ на структуру и функционирование автотрофных планктонных микроорганизмов на примере эстуария р. Нева</p> <p><i>С.Д. Гребельный, Н.Ю. Иванова, Е.А. Нефедова.</i> Развитие сравнительно-анатомической классификации Anthozoa от Эренберга до наших дней и её несогласованность с молекулярными данными</p> <p><i>Д.О. Драчко.</i> Интегральный подход к изучению разнообразия центрохелид: эволюция, экология и жизненные циклы</p> <p><i>Н.Е. Журавлева, Н.В. Денисенко, С.Г. Денисенко, С.Ю. Гагаев, Д.В. Захаров, О.Л. Зимина, Н.Ю. Иванова, А.В. Смирнов, Е.В. Солдатенко, Е.А. Стратаненко, Е.М. Чабан.</i> Зообентос труднодоступных районов Карского моря и прилежащих к ним акваторий (по материалам экспедиции Arctic Century в 2021 г.)</p> <p><i>Н.Е. Журавлева, Н.А. Стрелкова, С.А. Назарова, Н.В. Томаповская.</i> Первое обнаружение мягкого коралла <i>Alcyonium digitatum</i> Linnaeus, 1758 (Anthozoa: Octocorallia) в прибрежных водах Восточного Мурмана (Баренцево море).</p> <p><i>Д.В. Захаров, И.Е. Манушин, Н.Е. Журавлева, О.Л. Зимина, Н.А. Стрелкова, В.С. Вязникова, К.С. Хачетурова, Д.Ю. Блинова.</i> Появление новых видов беспозвоночных на Баренцевоморском шельфе в последние 20 лет</p> <p><i>А.Г. Кирейчук.</i> О филогенетических отношениях в группе семейств, близких к Nitidulidae (Coleoptera)</p> <p><i>Е.В. Козминский, П.А. Лезин.</i> Аквариальный комплекс для содержания литоральных животных с имитацией приливно-отливного цикла</p> <p><i>С.А. Леонович.</i> О происхождении иксодовых клещей (Parasitiformes, Ixodidae)</p>	<p>3</p> <p>4</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>9</p> <p>11</p> <p>12</p> <p>14</p> <p>16</p> <p>17</p> <p>19</p> <p>21</p> <p>23</p> <p>25</p> <p>26</p> <p>28</p> <p>29</p>
--	--

В.А. Лухтанов. Хромосомные сборки геномов и кариосистематика XXI века.	30
К.Д. Мильто. Разнообразие змей Арало-Каспийского региона.	31
А.А. Намятова, П.А. Джелали, В.Д. Тыц, А.А. Попков. Влияние изменения климата на распространение трех широкоареальных видов клопов-слепняков (Insecta: Heteroptera: Miridae: Mirinae)	33
Е.А. Нефедова. Новая методика обработки известкового скелета для компьютерного микрофотографирования и первые наблюдения, выполненные с ее помощью.	34
С.А. Петров, О.В. Зайцева. Структурная организация катехоламинергической нервной системы хоппонемертин	35
И.Р. Поздняков, Е.Н. Волкова. Гены и скрытые черты фенотипа противостов.	37
А.А. Пржиборо, Ю.А. Дунаева, А.Ч. Понт. Фаллен, Цеттерштедт и Остен-Сакен: три выдающихся энтомолога и одна книга.	38
А.Ю. Рысс. Инвазивные виды нематод древесных пород: трансмиссия, специфичность, прогностические модели риска	40
Е.П. Самойлова, Л.А. Григорьева, Т.Н. Осипова. Северная граница ареалов европейского лесного (<i>Ixodes ricinus</i> L.) и таёжного (<i>Ixodes persulcatus</i> Sch.) клещей (Acari: Ixodidae) на территории Европейской части России.	41
А.О. Селюк, С.А. Карпов. Морская афелида: первое молекулярно-генетическое исследование, особенности жизненного цикла и таксономия	43
С.Ю. Синева, В.А. Лухтанов, А.В. Гагарина. Комплексный подход к решению сложной таксономической проблемы на примере трех видов ширококрылых молей (Lepidoptera, Oecophoridae).	44
В.В. Смирнов, Н.В. Усов. Температура и зоопланктон в прибрежье Белого моря – 60 лет изменений	46
А.О. Смуров, В.В. Хлебович, Е.В. Козминский, И.С. Плотников. О соотношении рапического и осмотического в солёностной толерантности эвригалинного вида <i>Paramecium nephridiatum</i>	47
Л.В. Соколов, А.Ю. Синельщикова, М.Ю. Марковец. Симпатрические виды кукушек – обыкновенная <i>Cuculus canorus</i> (Linnaeus, 1758) и глухая <i>Cuculus optatus</i> (Gould, 1845) мигрируют на разные континенты	49
Е.В. Целих. Соединяя Запад и Восток: интегративный подход при разработке системы палеарктических птеромалид (Hymenoptera, Chalcidoidea: Pteromalidae)	51

Составитель *С.Ю. Синев*
Редактор *Т.А. Асанович*
Компьютерная верстка *Т.В. Дольник*

Подписано в печать 29.03.24. Формат 60×84^{1/16}.
Объем 3.05 п. л. Тираж 100 экз.

Для заметок