



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



Учебно-научная база  
«Беломорская»

# Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2024

Тезисы докладов

Санкт-Петербург  
2024

Редакторы:

*А.И. Гранович, д. б. н., профессор, заведующий кафедрой зоологии беспозвоночных СПбГУ*

*Е.В. Абакумов, д. б. н., профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии СПбГУ*

*Р.П. Костюченко, к. б. н., доцент, заведующий кафедрой эмбриологии СПбГУ*

*А.А. Сухотин, к. б. н., ведущий научный сотрудник Беломорской биологической станции «Картеш»  
Зоологического института РАН*

*А.В. Зимин, д. г. н., профессор кафедры океанологии СПбГУ, заведующий лабораторией геофизических  
пограничных слоев Института океанологии им. П.П. Шириова РАН*

*М.В. Макаров, д. б. н., директор Мурманского морского биологического института РАН, ведущий научный  
сотрудник лабораторией альгологии*

*Г.М. Воскобойников, д. б. н., заведующий лабораторией альгологии Мурманского морского биологического  
института РАН*

*М.А. Бердиева, к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории цитологии одноклеточных организмов,  
Института цитологии РАН*

*К.В. Галактионов, д. б. н., профессор, заведующий лабораторией по изучению паразитических червей и  
протистов Зоологического института РАН*

*С.Ю. Янсон, к. г.-м. н., зам. директора Ресурсного центра микроскопии и микроанализа СПбГУ*

*В.В. Старунов, к. б. н., старший научный сотрудник кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

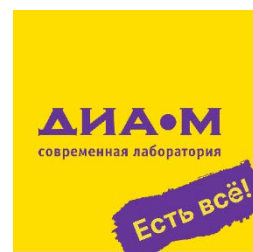
*Д.Ю. Крупенко, к. б. н., ассистент кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

**Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2024.** Тезисы докладов. — Санкт-Петербург:  
Свое издательство, 2024. — 79 с.

ISBN 978-5-4386-2350-2

Сборник составлен из материалов докладов с конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2023» (1–2 февраля 2024 г., Санкт-Петербург). Конференция проводится ежегодно, и традиционно посвящена исследованиям, связанным с Арктическим регионом. Она является площадкой, на которой молодые ученые в дружелюбной атмосфере могут поделиться результатами своих исследований. Программа конференции включает доклады приглашенных ученых, а также устные и постерные доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, сгруппированные в шесть секций: (1) океанология и геология; (2) экология; (3) молекулярная биология и эмбриология; (4) ботаника; (5); зоология; (6) паразитология.

Конференция проходила при поддержке ООО «Вермес», ООО «Диаэм», лаборатории гидробиологии Центра морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, ООО «Додо Франчайзинг» и кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ.



## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Гимельбрант Д.Е., Степанчикова И.С.</i> Командоры глазами лишенологов.....	8
<i>Зимин А.В., Коник А.А.</i> Изменчивость характеристик крупномасштабных фронтальных зон в Баренцевом и Карском морях в XXI веке.....	9
<i>Сироткин А.Н.</i> Архипелаг Шпицберген: история, природа, экономика, геология .....	10
<i>Мокиевский В.О.</i> Бентос Арктики во времени и в пространстве .....	11
<i>Erokhina M., Bushuev A., Palinauskas V., Platonova E., Khaitov V., Davydov A., Mukhin A.</i> The price to cope with avian malaria in energy units. Is it possible to evaluate it right? .....	12
<i>Kosevich I.</i> Coral and scyphozoan polyps — how different they are? .....	13
<i>Козин В.В.</i> Как растут черви и что делают после потери хвоста и головы: истории из жизни беломорского нерейса <i>Alitta virens</i> .....	14
<i>Кочнев А.А.</i> Влияние потери ледовых местообитаний в Чукотском море на тихоокеанского моржа и белого медведя.....	15

### ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

#### ОКЕАНОЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ

<i>Писцова М.А., Смирнова В.В., Романенко Ф.А.</i> Поиск следов экстремальных палеогеографических событий в торфяниках Западного Беломорья.....	16
<i>Романюкина С.А., Подрезова Н.А.</i> Исследование площади льда Белого моря в зависимости от суровости зимы.....	17
<i>Демченко А.Ю., Чиканов Н.А., Смагин Р.Е., Петросян Н.В.</i> Особенности океанологического режима беломорских полуизолированных приливных акваторий (залив Амазона и лагуна Кив) .....	18
<i>Иванов К.Д., Виноградов М.В., Куимова Е.С., Смагин Р.Е.</i> Взаимодействие речных и морских вод в губе Кереть (по данным натурных измерений за 2022–2023 годы) .....	19
<i>Шляпин С.А., Смагин Р.Е.</i> Анализ данных океанографических характеристик в губе Кереть летом 2023 г.....	20

## ЭКОЛОГИЯ

<i>Никеева Н.В., Дубинин Е.А., Барыкина Д.А., Соловьева Д.В.</i> Изучение гнездовой активности белой трясогузки <i>Motacilla alba ocularis</i> в условиях полярного дня с использованием фотоловушек.....	21
<i>Липкина А.Е., Мандрыка О.Н.</i> Оценка функционирования и перспективы модернизации системы мониторинга китообразных Западного сектора Российской Арктики.....	22
<i>Павлюков Г.К., Данилов Г.К., Цыганкова В.И., Вартамян С.Л.</i> Частотно-байесовский анализ больших серий радиоуглеродных дат по останкам крупных млекопитающих четвертичной фауны.....	23
<i>Logvinenko A., Gordeev I.</i> Characteristics of infection in marine and freshwater populations of the three-spine stickleback <i>Gasterosteus aculeatus</i> in the White Sea .....	24
<i>Федоров Д.Д., Ковалев А.А., Николаев К.Е.</i> Разрушая гармонию литорали: метацеркарии <i>Himasthla elongata</i> (Trematoda: Himasthlidae) изменяют силу прикрепления хозяина ( <i>Mytilus edulis</i> ) к субстрату .....	25
<i>Петрова А.Г.</i> Восстановление загрязненных тяжелыми металлами почв в Арктической зоне РФ с использованием серпентинсодержащих материалов.....	26
<i>Чава А.И., Захаров Г.Д., Озеров Д.А.</i> Формирование и сезонная динамика сообществ макрообрастания искусственных субстратов в верхней сублиторали Белого моря.....	27
<i>Ширяевский Д.С.</i> Значимость экологического туризма для регионов российской Арктики .....	28
<i>Чернявский Л.Ю., Жигилева О.Н., Левых А.Ю.</i> Генетический полиморфизм в популяциях красной полевки особо охраняемых природных территорий Крайнего Севера .....	29
<i>Надточий Е.В., Медведева М.А., Иванова Т.С., Иванов М.В., Лайус Д.Л.</i> Первые результаты исследований популяционных характеристик девятииглой колюшки <i>Pungitius pungitius</i> L. в Кандалакшском заливе Белого моря.....	30
<i>Маньлова Я.А., Аристов Д.А.</i> Влияние гидроидного полипа <i>Halitholis cirratus</i> на скорость роста и выживаемость двустворчатого моллюска <i>Portlandia arctica</i> .....	31
<i>Шилонцев А.А., Хайтов В.М.</i> Двое в одной банке: конкуренция <i>Mytilus edulis</i> и <i>M. trossulus</i> в смешанных поселениях.....	32
<i>Бритиков А.И., Хайтов В.М.</i> Влияние мидий на двигательные способности литоральных брюхоногих моллюсков.....	33
<i>Александрова П.Н., Сказина М.А., Хайтов В.М.</i> Трансмиссивная неоплазия у мидий <i>Mytilus trossulus</i> в Охотском море в районе г. Магадан.....	34
<i>Зенков Е.А., Семенова Е.В., Полоскин А.В.</i> Частота оседания церкарий семейства Notocotylidae на раковины двух видов беломорских гидробиид в эксперименте .....	35

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ И ЭМБРИОЛОГИЯ

<i>Ветрова А.А., Лебедева Т.С., Кремнев С.В.</i> Сигнальный путь cWnt участвует в молекулярной разметке личинки и колонии гидроида <i>Dunatena pumila</i> .....	36
<i>Shalaeva A., Kozin V.</i> Role of FGF signaling in regulation of the transcriptional profile during regeneration of the polychaete <i>Alitta virens</i> .....	37
<i>Кайров А.И., Козин В.В.</i> Свидетельства консервативности функций Wnt-сигналинга в развитии полихеты <i>Alitta virens</i> .....	38
<i>Бармасова Г.А., Старунова З.И., Шунькина К.В., Старунов В.В.</i> Развитие нервной системы <i>Marenzelleria</i> sp. (Annelida, Spionidae).....	39
<i>Муллахметов Р.И., Кондакова Е.А., Кулакова М.А.</i> Материнские РНК в ооцитах и ранних эмбрионах <i>Platynereis dumerilii</i> .....	40
<i>Greenberg M., Shalaeva A., Kozin V.</i> Analysis of MAP-kinase signaling cascade activity and regulation during the development of <i>Ophelia limacina</i> (Spiralia, Annelida).....	41
<i>Беттхер А.М., Костюченко Р.П.</i> Репертуар генов <i>Raxb</i> у аннелид.....	42
<i>Репкин Е.А., Кочергина Н.А., Гранович А.И., Мальцева А.Л.</i> Анализ изменений в энергетическом метаболизме в тканях моллюсков <i>Littorina</i> spp. в связи с заражением трематодами.....	43
<i>Зубова Е.В., Гафарова Е.Р., Курячий Д.С., Репкин Е.А., Гранович А.И., Мальцева А.Л.</i> Влияние трематоды <i>Microphallus rugmaeus</i> на голобионта: страдает ли кишечный микробиом литторин от паразитарной инвазии в улитке.....	44
<i>Golofeeva D., Lianguzova A., Gafarova E., Miroljubov A., Nesterenko M.</i> Master manipulator: effects of a rhizocephalan barnacle <i>Peltogaster reticulata</i> on the host nervous system (comparative transcriptome analysis of abdominal ganglia of healthy and infected hermit crab <i>Pagurus minutus</i> ).....	45
<i>Попадич С.А., Нефедова Е.А., Гонобоблева Е.Л.</i> Первые данные о репродукции морских анемонов в аквариумах Ленинградского зоопарка.....	46

## БОТАНИКА

<i>Евнюкова И., Домашкина В., Леострин А.</i> Geographical distribution of some <i>Carex</i> sect. <i>Ceratocystis</i> Dumort. species in the North of European Russia.....	47
<i>Беляева Т.А., Андросова В.И.</i> Видовой состав лишайников на деревьях рода <i>Malus</i> в Петрозаводском городском округе (Республика Карелия).....	48
<i>Павлова М.А., Терехова Е.Н.</i> Свойства клеточной стенки и накопление тяжелых металлов в талломе <i>Fucus vesiculosus</i> L. ....	49

Кудрявцева Е.О., Салахов Д.О., Воскобойников Г.М.  
Способность зеленой водоросли *Ulva lactuca* к очистке морской воды от дизельного топлива ..... 50  
Исламова Р.Т., Яньшин Н.А., Замяткина Е.Б., Тараховская Е.Р.  
Место под Солнцем: адаптации верхнелиторальной водоросли *Pelvetia canaliculata* к продолжительной  
осушке в условиях квадратного приливного цикла ..... 51

Яньшин Н.А., Замяткина Е.Б., Исламова Р.Т., Тараховская Е.Р.  
Изменение профилей низкомолекулярных метаболитов красных водорослей *Phycodrys rubens* (Ceramiales)  
и *Coccotylus brodiaei* (Gigartinales) в зависимости от солености воды ..... 52

Замяткина Е.Б., Яньшин Н.А., Исламова Р.Т., Тараховская Е.Р.  
Особенности биохимического состава морской красной водоросли *Furcellaria lumbricalis* ..... 53

Буряк А.Ю., Абрамова М.С., Баскаев А.А., Волков П.А., Ермохин Д.А., Илюшин Е.А., Казакова М.А.,  
Карнаухов В.К., Кравцов И.Д., Кузьмин Н.А., Лапина К.К., Матерова Т.А., Нехорошева Ю.Е.,  
Шипилова П.А., Ястребов И.А., Григорян И.В., Пархаева А.П., Краснова Е.Д.  
Оценка биомассы нитчатых водорослей в озере Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив, Белое море),  
частично изолированном от Белого моря ..... 54

Родин А.Ю., Стародубцева А.А.  
Морфология листа *Lathyrus japonicus* на Северо-западе России ..... 55

## ЗООЛОГИЯ

Domracheva M., Salova I., Nefedova E., Khabibulina V.  
The mystery of the staurozoan *Halichlystus monstrosus* (Naumov, 1961) ..... 56

Агунович К.К., Неретина Т.В., Ежова М.А., Ворцепнева Е.В.  
*Admete* cf. *viridula* (Gastropoda, Neogastropoda, Cancellariidae): загадочные моллюски без радулы ..... 57

Богданов Е.А., Вишняков А.Э., Островский А.Н.  
Разнообразие симбиотических взаимодействий между беломорскими мшанками (Bryozoa: Cheilostomata)  
и прокариотами ..... 58

Tsvetkova A., Tumanov D.  
Armored bear: a new species of *Testechiniscus* (Tardigrada) from Novaya Zemlya ..... 59

Полузеров С.А.  
Новые данные о разнообразии центрохелидных солнечников видового комплекса *Acanthocystis «turfacea»*  
(Haptista: Centroplasthelida) ..... 60

Матвейчева Е.П., Фофанова Е.Г., Воронежская Е.Е.  
Морфология цист *Dinophilus vorticoides* ..... 61

Салова И.А., Домрачева М.М., Хабибулина В.Р.  
Особенности строения нервной и мышечной системы гидроидных полипов *Monobrachium parasitum* ..... 62

Кожин И.В., Сказина М.А., Малавенда С.С., Марченко Ю.Т., Стрелков П.П.  
Первое исследование *Cerastoderma edule* внутренних районов Кольского залива ..... 63

Кулишкин Н.С.  
Новые данные о пресноводной амебе *Leptomuxa neglecta* (Amoebozoa, Tubulinea) ..... 64

Чикадзе Е.Д., Мезенцев Е.С.  
Морфологическая идентификация представителей рода *Dermatobia* (Amoebozoa: Discosea) из наземных  
местообитаний ..... 65

Таймарова К.М., Камышацкая О.Г., Кулишкин Н.С., Мезенцев Е.С.  
Новый представитель рода *Ptolemeba* (Amoebozoa, Tubulinea, Hartmannellidae) — обитатель листового опада из ботанического сада СПбГУ ..... 66

Шкляр А.А., Мезенцев Е.С.  
Новый представитель группы близких видов *Thecamoeba similis* (Thecamoebidae; Discosea; Amoebozoa) .... 67

## ПАЗАРИТОЛОГИЯ

Прилуцкий М.Е., Паскерова Г.Г.  
Новые данные по морфологии *Haplozoon armatum* Dogiel, 1906 (Dinoflagellata),  
кишечного паразита полихеты *Travisia forbesii* Johnston, 1840 ..... 68

Ерохина М.М., Платонова Е.В., Давыдов А.А., Мухин А.Л.  
Разнообразие гемоспоридий (Apicomplexa, Haemosporida) птиц Белого моря ..... 69

Скобкина О.А., Кремнев Г.А., Крупенко Д.Ю.  
Неклассический способ формирования тегумента: развитие и строение цистофорных церкарий трематод (Digenea: Nemiuroidea) ..... 70

Ефременкова Ю.А., Крупенко Д.Ю., Кремнев Г.А., Скобкина О.А.  
Пигментированные фоторецепторы и ассоциированные с ними нервные структуры у церкарии  
из семейств Notocotylidae и Brachycladiidae ..... 71

Дюмина А.В.  
Структура системы ретракторов *Polymorphus phippii* (Acanthocephala: Polymorphidae) ..... 72

Раппопорт А.В., Слюсарев Г.С.  
Реконструкция нервной и рецепторной системы самки *Intoshia linei* (Orthonectida) ..... 73

Арбузова Н.А., Лянгузова А.Д., Матач Д.А., Миролубов А.А.  
Мышечная и лакунарная системы экстерны и их роль в транспорте питательных веществ  
у представителей сем. Polyascidae (Cirripedia: Rhizocephala) ..... 74

Петруняк А.М., Ласкова Е.П., Лянгузова А.Д., Крупенко Д.Ю., Полюшкевич Л.О., Арбузова Н.А.,  
Миролубов А.А.  
Исследование скрытого биоразнообразия *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala) ..... 75

Фролова Е.В., Райко М.П., Бондаренко Н.И., Паскерова Г.Г., Симдянов Т.Г., Смирнов А.В., Насонова Е.С.  
Скрытое разнообразие мечниковеллид Баренцева моря ..... 76

Соколова А.И., Гончар А.Г., Галактионов К.В.  
Паттерны географической генетической изменчивости трематод рода *Microphallus* (Microphallidae,  
Digenea) ..... 77

Гублер А.Г., Кремнев Г.А., Скобкина О.А., Гончар А.Г., Крупенко Д.Ю.  
*Brachyphallus crenatus* и *Nemiurus levinseni* (Digenea, Nemiuridae) в морях Севера и Востока России ..... 78

Унтилова А.А., Дюмина А.В.  
Использование маркера ITS1 при создании серий типовых образцов для представителей семейства  
Polymorphidae (Acanthocephala: Palaeacanthocephala) ..... 79

## ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

### Командоры глазами лишенологов

Гимельбрант Д.Е. \*, Степанчикова И.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ботаники, Санкт-Петербург  
Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: d\_brant@mail.ru

Командоры — самая западная часть Командорско-Алеутской островной дуги, отделяющая бассейн Тихого океана от его северной части — более холодного Берингова моря. Архипелаг площадью около 1850 км<sup>2</sup> включает два крупных острова — Беринга и Медный, а также два очень небольших — Топорков и Арий Камень. Являясь вершинами древнего подводного вулканического хребта, острова представляют собой горную систему с высотами до 758 м над уровнем моря, с обрывистыми берегами, горными тундрами, высокогорными каменистыми осыпями, высокотравными сообществами в долинах многочисленных рек и ручьев, редкими кустарниковыми долинными сообществами; деревья на архипелаге отсутствуют. Командорские острова входят в состав Алеутского района Камчатского края и имеют статус национального парка.

Из-за удаленности и труднодоступности Командор, разнообразие многих групп организмов, обитающих там, до сих пор не исследовано либо исследовано недостаточно подробно. Лишайники архипелага вплоть до наших экспедиций 2019–2022 гг. были изучены крайне слабо. Первые и практически единственные опубликованные сведения о лишенобиоте архипелага относятся к концу XIX века, когда острова посетила шведская экспедиция А.Е. Норденшельда «Вега». В течение двух дней доктор Е. Альмквист собрал коллекцию лишайников на острове Беринга. На основании этих материалов было описано несколько видов, опубликован список обнаруженных лишайников (Almqvist, 1887; Nylander, 1888; и др.). Последующие сборы с островов были отрывочными и оказались не обработанными до начала наших исследований.

Собранный нами за четыре года экспедиций обширный материал сейчас находится в стадии обработки, к настоящему времени выявлено более 200 видов. Несмотря на относительно невысокое видовое разнообразие, лишенобиота Командорских островов достаточно своеобразна. Так, изучение лепрариоидных лишайников Командор показало с одной стороны крайнюю бедность их видового состава — всего выявлено 7 видов, а с другой его высокую специфичность. На островах обнаружены редкие хемотипы известных видов, а также виды, неизвестные с соседних территорий, включая новый для науки вид *Lepraria tiinae* Stepanchikova & Himelbrant, широко распространенный на архипелаге. Исследование семейства Teloschistaceae показало исключительно высокое видовое разнообразие этой группы на Командорах, причем обнаружены виды как с азиатским, так и с американским распространением, выявлены локальные эндемики, в том числе недавно описанный вид *Polyscauliona comandorica* Himelbrant et al. Уже первые оформленные результаты исследований свидетельствуют о ключевой роли Командорско-Алеутской островной дуги в процессах генезиса лишенобиоты всей Северной Пацифики.

### Commander Islands through the eyes of lichenologists

Himelbrant D., Stepanchikova I.

Saint Petersburg State University, Department of Botany, Saint Petersburg  
Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg

Based on four expeditions (2019–2022), the lichen diversity of the Commander Islands is studied. The first results indicate the presence of local endemics and species with Asian and American distribution, and also show the key role of the Commander-Aleutian Arc in the genesis of lichen biota of the North Pacific.



## **Изменчивость характеристик крупномасштабных фронтальных зон в Баренцевом и Карском морях в XXI веке**

*Зимин А.В.<sup>1,2\*</sup>, Коник А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Москва

\* e-mail: zimmin2@mail.ru

Появление новых спутниковых сенсоров позволяет шире использовать поступающие на постоянной основе данные дистанционных измерений, что открывает возможности в исследовании поверхностных проявлений фронтальных зон и позволяет сформировать представления об их изменчивости за несколько десятилетий. Однако неоднородность распределения и малая величина поверхностных градиентов гидрофизических полей во фронтальных зонах морей Арктики является препятствием для получения количественных оценок их положения и характеристик на обширных акваториях, что, в свою очередь, делает необходимым совершенствование методик их выделения.

Создана универсальная методика определения пространственного положения и количественных оценок поверхностных проявлений фронтальных зон в морях Арктики на основе объединения разнородных спутниковых данных. Отличительные черты данной методологии заключаются в отсутствии требований к значительным вычислительным ресурсам, простоте в использовании, выводе сразу нескольких океанографических характеристик поверхностных проявлений фронтальных зон на различных (в зависимости от задач исследователя) временных интервалах и универсальности ее применения в рамках изучения любого другого полярного региона.

На основе разработанной методики получены количественные оценки физико-географических характеристик на внутрисезонном и межгодовом интервалах Стоковой (СФЗ), Полярной (ПФЗ) и Арктической (АФЗ) фронтальных зон Баренцева и Карского морей в течении двух десятилетий XXI века. Показано, что глобальные климатические изменения отражаются на характеристиках фронтальных зон следующим образом: они смещаются в северном направлении, градиент ТПМ в них ослабевает, а площади сокращаются.

*Работа выполнена в рамках государственного задания №FMWE-2024-0028.*

## **Variability of the characteristics of large-scale frontal zones in the Barents and Kara Seas in the XXI century**

*Zimin A.<sup>1,2</sup>, Konik A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg University, Department of oceanology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

\* e-mail: zimmin2@mail.ru

A universal technique has been created for determining the spatial position and quantitative assessments of the surface manifestations of frontal zones in the Arctic seas based on combining heterogeneous satellite data. It has been shown that global climate changes affect the characteristics of frontal zones in the following way: they shift northward, the SST gradient in them weakens, and their areas are reduced.

## **Архипелаг Шпицберген: история, природа, экономика, геология**

*Сироткин А.Н.*

Шпицбергенская геолого-поисковая партии, Полярная Морская Геологоразведочная Экспедиция, Санкт-Петербург  
e-mail: peshenga-67@yandex.ru

Архипелаг Шпицберген расположен на сочленении Баренцевской шельфовой плиты, северного фрагмента Норвежско-Гренландского бассейна и западной части Северного Ледовитого океана. Это самое северное в регионе естественное обнажение, в котором на дневную поверхность выведены не только покровные осадочные комплексы, но и складчатые кристаллические породы основания. Такая особенность делает архипелаг ключевым для расшифровки геологического строения и этапов формирования тектонической структуры шельфа и материкового склона, а также для обоснования прогнозной оценки ресурсов полезных ископаемых в северо-западной части Баренцевоморского шельфа. Исключительная важность географо-экономического положения района, с одной стороны, определяется его особым международным статусом, а, с другой стороны, тем, что на востоке он граничит с северо-западными шельфовыми областями России, а на севере — с международными водами Северного Ледовитого океана. Одновременно большинство районов архипелага по причине своей труднодоступности являются малоизученными в геологическом (прежде всего — в минерагеническом) отношении. Близость архипелага к арктическим территориям нашей страны подчеркивает его стратегическое значение и тот высокий интерес к этому региону у российских ученых и практиков, включая геологов, который выражается в многолетнем и многоплановом присутствии российских научных и производственных организаций на Шпицбергене.

После того, как в 1935 году Советский Союз присоединился к Парижскому договору 1920 года о Шпицбергене, на архипелаге активную хозяйственную деятельность, включая геологические исследования, ведет Трест «Арктикуголь». Регулярные региональные геолого-геофизические работы в этом регионе стали проводиться с 1962 года в соответствии с приказом Министерства геологии и охраны недр СССР № 15-с от 23.02.1962 года, отданном на основании распоряжения Совета Министров СССР № 292 р-с от 08.02.1962 года. В том же году Правительством СССР было поручено Научно-исследовательскому институту геологии Арктики (НИИГА) начать на архипелаге геолого-поисковые и исследовательские работы с целью обеспечения юридических норм международного права владеть участками земли, расширять ресурсную базу месторождений полезных ископаемых для обеспечения долгосрочной хозяйственной деятельности по их освоению. В настоящее время деятельность российских геологов определяется «Концепцией политики РФ на норвежском архипелаге Шпицберген», которая одобрена Указом Президента РФ № 1386с от 31.12.1997 года. Одной из задач, определяемых этой концепцией, является задача ширококомасштабного присутствия российских организаций на архипелаге Шпицберген и их разноплановая хозяйственная деятельность, в т.ч. по изучению недр как самого архипелага, так и прилегающего к нему шельфа.

## **Spitsbergen Archipelago: history, nature, economics, geology**

*Sirotkin A.*

Polar Marine Geosurvey Expedition, Saint Petersburg

Spitsbergen Archipelago is located in the western section of Arctic near the State border of Russia. This location of archipelago regarding arctic land of our country point out it strategic and also especially strong interest Russian scientists (including geology) that expressed in the many years of presence of Russian scientist's institutions and industrial organizations.

## **Бентос Арктики во времени и в пространстве**

*Мокиевский В.О.*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва  
e-mail: vadim@ocean.ru

В докладе, преимущественно на материале исследований последних лет, обсуждаются закономерности пространственной организации сообществ бентоса арктических морей, а также устойчивость состава и структуры донных сообществ во времени. Современные данные подтверждают известную зональную схему распределения группировок бентоса, однако, сообщества, выделяемые по доминирующим видам, могут существенно различаться по видовому составу, что отражает историю их формирования на арктическом шельфе: «молодые» сообщества собраны из древних видов. Пространственная мозаика макро- и мейобентоса в однородных условиях не совпадает, а на выраженных градиентах среды границы таксоценов и размерно-экологических групп бентоса сближаются. На длительных отрезках времени (десятки лет) донные биоценозы в разных районах Арктики демонстрируют, в большинстве случаев, постоянство структуры и состава. Отчасти это связано с низкой разрешающей способностью исследований долговременной динамики, не позволяющей выявлять колебания численности отдельных популяций и незначительные изменения в структуре сообществ. С большей достоверностью выявляются критические изменения в сообществах: полное исчезновение вида в биотопе, перестройка структуры сообщества при трансформации донных осадков или при вселении чужеродного вида. Группировки макро- и мейобентоса при таких изменениях ведут себя по-разному, снижение обилия одной экологической группы может сопровождаться увеличением обилия другой. В то же время, известны и сообщества, постоянно существующие в «динамическом режиме», структура которых меняется год от года. К ним относятся, в частности, некоторые сообщества эстуарных зон, обитающие в постоянно меняющихся условиях температуры и солености.

## **Arctic benthos in space and time**

*Mokievsky V.*

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

The structure of benthic communities in Arctic, the coincidence or discrepancy of spatial patterns in macro- and meiobenthos are discussed. The questions arise: do we know the same communities under the same name? How prominent a change in structure should be before we notice it, and are there examples?

## The price to cope with avian malaria in energy units. Is it possible to evaluate it right?

Erokhina M.<sup>1</sup>, Bushuev A.<sup>2</sup>, Palinauskas V.<sup>3</sup>, Platonova E.<sup>1</sup>, Khaitov V.<sup>4,5</sup>, Davydov A.<sup>1</sup>, Mukhin A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Biological Station Rybachy of Zoological Institute RAS, Rybachy

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Vertebrate Zoology, Moscow

<sup>3</sup> Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania

<sup>4</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>5</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

\* e-mail: a.l.mukhin@gmail.com

It is believed that when birds are infected with species of malarial parasites not found in their natural habitat, it can lead to serious negative consequences for the infected individuals. Given global warming and the potential expanding range of vectors, there is a growing threat of infection to bird species in northern latitudes that have never been exposed to tropical malarial species. In our study, we infected two groups of young siskins (*Spinus spinus*). One group was infected with a parasite species known to transmit in the North Palearctic, *Plasmodium relictum* (SGS1 lineage). The second group was infected with a parasite transmitted in Central and Southern Africa, *P. ashfordi* (GRW2 lineage). We compared the effects on the birds' physiological state using parameters like resting metabolic rate (RMR) and interleukin-6 (IL-6) levels. RMR gives insight into the energetic cost of the disease, and IL-6 is a pro-inflammatory cytokine indicative of the acute phase response within the innate immune system. Our results reveal that during the acute phase of SGS1 infection, there is a decrease in RMR and a reduction in IL-6 levels in siskins. For the GRW2 group, a similar trend in IL-6 was observed during the acute phase but not in the later stages of chronic infection. The RMR dynamics in the GRW2-infected siskins differed significantly from those in the SGS1 group.

However, the question arises as to how adequately the method based on oxygen consumption is used to assess the cost of immune response during infection. The primary target affected by plasmodium parasites is the blood cells. Extensive anemia caused by oxygen deprivation is a consequence of significant destruction of affected erythrocytes. In other words, we are trying to assess changes in oxygen consumption when the transporting substrate for oxygen is destroyed. Furthermore, the destruction of erythrocytes is not just cell death but also the significant release of cytotoxic hemoglobin and heme. As a result, the excess heme, due to its oxidative action, contributes to serious damage to the vascular tissue of various organs and other erythrocytes, leading to hemolytic anemia. Therefore, when we talk about the cost of overcoming malarial infection in energy units, it should be taken into account that the infection itself changes the quantity of the substrate that carries oxygen. The energy of the organism of the diseased animal is directed not only towards forming an immune response but also towards recovery tasks after the impact of toxic heme, which may significantly affect our results.

## Coral and scyphozoan polyps — how different they are?

*Kosevich I.*

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow  
e-mail: ikosevich@gmail.com

The diversity of developmental processes and anatomical structures of the representatives of the main groups of cnidarians is enormous. It is accepted that the anthozoans are the earliest branching cnidarian lineage. In this case, the question of interest is why the polypoid stage in the Medusozoa clade has a much simpler organization compared to that of Anthozoa?

We compared the embryonic and early postembryonic development of anthozoan (using literature data on *Nematostella vectensis*) and *Aurelia aurita*, a representative of the scyphozoans. Development of *A. aurita* was studied by light and electron microscopy and immunocytochemistry and confocal laser scanning microscopy.

Cleavage of the *A. aurita* embryo ends with the formation of a coeloblastula. During gastrulation the blastopore lip involutes following the archenteron rudiment. However, the blastopore closes, and the blastopore lip integrates into the oral ectoderm at the posterior pole of the planula. One can distinguish the anterior vacuolated, middle granulated, and posterior vacuolated partitions of the entoderm of the competent planula.

At the onset of planula metamorphosis, an ectodermal invagination at the oral pole of the planula fuses with the upper part of the middle partition of the entoderm forming the lining of the gastral cavity of the primary polyp. The oral part of the gastral cavity corresponds to the manubrium cavity of the primary polyp, and has an ectodermal internal lining. The posterior partition of entoderm is consumed in the formation of the entodermal axis of the first pair of tentacles.

The middle entoderm partition participates in the formation of the entoderm of the second pair of tentacles. At the base of the tentacles, the entodermal partitions of both pairs of tentacles come into contact. Along this boundary, a bundle of epithelio-muscular cells, originating from the oral disc's outer ectoderm, is formed, which connects the ectoderm of the oral disc with the ectoderm of the lateral wall of the calyx of the primary polyp. The location of muscle bundles corresponds to the places of septa formation of the primary polyp. Most of the septa surface, looking into the gastral cavity, is formed by overgrowth of the inner ectodermal lining of the polyp manubrium.

Analyses of *A. aurita* early development revealed that the development and organization of scyphozoan polyp represent a modified version of the development and organization of the coral polyp.

*The project was supported by RFBR, grant #19-04-01131-a.*

## Как растут черви и что делают после потери хвоста и головы: истории из жизни

### беломорского нерейса *Alitta virens*

Козин В.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург  
e-mail: v.kozin@spbu.ru

Способность червеобразных организмов к росту в длину реализуется очень по-разному, но определяет облик представителей многих таксонов Metazoa. Кольчатые черви представляют особый интерес в этом отношении, поскольку являются недостающим звеном в эволюционном анализе процессов сегментации и генетической регуляции развития. Цель настоящей работы — проследить закономерности анаморфного роста у нерейды *Alitta virens* на разных этапах онтогенеза.

У объектов исследования — личинок, ювенилей и регенератов — выявляли митотическую активность мечением EdU, экспрессию регуляторных генов на уровне мРНК с помощью гибридизации *in situ*, тканеспецифичные маркеры, а также изучали микроанатомию методами реконструкции серийных полутонких срезов и ТЭМ. В ходе экспериментов по регенерации у ювенильных червей удаляли только задний фрагмент тела длиной 5–10 сегментов или в сочетании с удалением простомиума (переднего отдела головы, содержащего надглоточный ганглий).

Впервые для полихет была установлена последовательность закладки постларвальных сегментов. У личинок на стадии метатрохофоры по дифференциальной экспрессии генов-маркеров мультипотентного статуса можно констатировать появление особой зоны клеток кпереди от телотроха. Именно в этой области у нектохет отмечена интенсивная пролиферация клеток, приводящая к разрастанию пигидия. Описание динамики экспрессии гена-маркера сегментарных границ *engrailed* позволило заключить, что в составе пигидия нектохет уже появляется материал первого постларвального сегмента (Kairov, Kozin, 2023). Таким образом, зона роста приобретает особый молекулярный профиль и начинает функционировать уже у личинок, а морфологическое обособление сегментов завершает период метаморфоза. У ювенилей зона роста была визуализирована как с помощью молекулярных маркеров, так и по наиболее интенсивной окраске на РНК. На ультраструктурном уровне перед пигидием выявлено кольцо особых покровных клеток, отличающихся высоким ядерно-плазматическим отношением, наличием крупного ядрышка, большим содержанием рибосом и отсутствием секреторных гранул. В отличие от эктодермальной части зоны роста внутренние (мезодермальные) клетки малодифференцированного фенотипа локализируются только в вентромедиальной зоне кпереди от пигидиального кровеносного сосуда. После ампутации задних сегментов зона роста и пигидий восстанавливаются очень рано, уже к двум-трем дням после ампутации наблюдается зональность регенерата и формируются популяции клеток, отличающиеся по морфологии, митотической активности и профилю экспрессии генов (Shalaeva, Kozin, 2023). Примечательно, что ампутация простомиума (источника нейрогуморальных стимулов роста и регенерации нерейд) не блокирует запуск восстановительных морфогенезов, но существенно влияет на дифференцировку регенерировавших тканей. Таким образом, нами прослежены процессы закладки, функционирования и восстановления зоны роста *A. virens*, что способствует более полному и глубокому пониманию регуляторных механизмов терминального роста аннелид.

Работа выполнена на базе Морской биологической станции СПбГУ (УНБ «Беломорская»), РЦ ММ и РЦ РМиКТ при поддержке гранта РФФ № 23-74-10046.

## How worms grow and what they do after losing their tail and head: stories from the life of the White Sea king ragworm *Alitta virens*

Kozin V.

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

The purpose of this work is to analyze the patterns of anamorphic growth in the nereid *Alitta virens* at different stages of ontogenesis. Using various morphological and molecular biology techniques, we followed the formation, functioning, and restoration of the subterminal growth zone.

## **Влияние потери ледовых местообитаний в Чукотском море на тихоокеанского моржа и белого медведя**

*Кочнев А.А.*

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Национальный парк «Берингия»  
e-mail: anatoly-kochnev@yandex.ru

С начала 1990-х гг. в тихоокеанском секторе Арктики начались быстрые изменения ледовых условий. Чукотское море стало почти ежегодно освобождаться от льдов, кромка которых осенью уходит за пределы континентального шельфа. Замерзание Чукотского моря стало происходить позже на 30–45 дней, произошла смена паковых льдов на однолетние. Это не могло не сказаться на популяциях пагофильных морских млекопитающих. На базе многолетних исследования моржей и белых медведей на Чукотке показаны негативные стороны этого воздействия:

1. Трудности в кормодобывании;
2. Рост энергетических затрат на перемещения по чистой воде;
3. Увеличение использования береговых местообитаний;
4. Распад семей;
5. Ухудшение физического состояния особей, заболевания и инфекции;
6. Рост интенсивности межвидовых взаимодействий;
7. Расширение контактов с людьми, и рост антропогенного воздействия;
8. Высокий уровень смертности;
9. Снижение численности и сокращение ареала.

Моржи и белые медведи показывают высокие адаптивные способности к изменениям климата, но остается под вопросом, в какой момент наступит порог, после которого вымирание пагофильных морских млекопитающих станет неизбежным.

## **Impact of sea ice habitats loss on the Pacific walrus and polar bear populations in the Chukchi Sea**

*Kochnev A.*

Institute of Biological Problems of the North Far East Branch RAS, Beringia National Park

Since the early 1990s in the Pacific Arctic, rapid changes in ice conditions began. Based on many years of research in Chukotka, the negative impact of reduced ice cover on walrus and polar bears has been shown. So far, both species show high adaptive abilities to climate change, but it is unclear at what point the threshold will occur, after which the extinction of pagophilic marine mammals will become inevitable.

## Поиск следов экстремальных палеогеографических событий в торфяниках

### Западного Беломорья

*Писцова М.А.<sup>1,2\*</sup>, Смирнова В.В.<sup>1</sup>, Романенко Ф.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва

<sup>2</sup> Институт географии РАН, Москва

\* e-mail: pistsovama@my.msu.ru

Исследования торфяников Западного Беломорья активно ведутся уже около 70 лет. С точки зрения палеогеографии, торфяники выступают прекрасными архивами природной среды за счет детальной записи событий и возможности датирования накопленной органики. Большой вклад в изучение объектов Беломорья внесли Кольский и Карельский научные центры РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова и Институт географии РАН (Романенко и др., 2023).

Нередко исследователи отмечают следы экстремальных событий. Так, на побережье Баренцева и Белого морей в озерных и болотных осадках регистрируются цунамигенные прослой (Голстобров и др., 2018, 2019). Поэтому одной из задач полевого сезона 2023 года для нас стал поиск следов таких событий в торфяниках, ранее не охваченных исследованиями. Для Западного Беломорья наименее обеспеченным палеогеографическими данными районом являются прибрежные территории от Беломорска до Чупы. Во время полевых работ было заложено шесть скважин, в одной из которых (в районе села Калгалакша) обнаружен прослой гравийных осадков с глинистым песчано-алевритистым заполнителем. Материал этой скважины был отобран на радиоуглеродное датирование и диатомовый анализ.

Объект исследования расположен на Карельском берегу Белого моря; побережье которого характеризуется фиардово-шхерным типом расчленения. Структурно территория лежит в пределах относительно стабильного блока Карельского кратона, закончившего свое формирование в архее. К северу от Энгозера проходит граница со структурами, находящимися в составе Беломорского подвижного пояса.

Рельеф прибрежной суши представлен мелкоягодовой равниной, тектоно-денудационной и, отчасти, экзарационной. Ориентировка гряд, имеющих превышение до 10 м — северо-западная до субширотной, что совпадает с простираем амфиболитовых гнейсов фундамента. Ингрессия вод морского бассейна по ложбине коренного рельефа привела к появлению в акватории Калгалакшской губы множества субпараллельно вытянутых островов и полуостровов, а также подводных порогов.

Современные берега в условиях столь сложной топографии береговой линии, а также ввиду их динамической юности, являются практически не измененными морем. Распространены низменные приморские луга, а в верхней части приливно-отливной зоны под плащом разреженного перлювия представлена маломощная литеральная фация.

Геоморфологические условия благоприятны для распространения на современную сушу волн цунами, и гранулометрический состав прослоя подтверждает легитимность предположения о формировании его вследствие такого события. Диатомовый анализ тонкого материала прослоя (глинисто-песчано-алевритистого) обнаруживает наличие в нем остатков морских и солоноватоводных диатомовых водорослей. Можно ли связать формирование прослоя с событием конца XIX века (Евзеров, 2013; Куликов, 2016), покажет радиоуглеродный анализ торфа, залегающего непосредственно под и над гравийными отложениями, но уже сейчас можно смело говорить о том, что сам он является свидетельством беломорского цунами.

## Traces of extreme paleogeographic events in the peatlands of the Western White Sea

*Pistsova M.<sup>1,2</sup>, Smirnova V.<sup>1</sup>, Romanenko F.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow

<sup>2</sup> Institute of Geography RAS, Moscow

In vicinity of Kalgalaksha in the lacustrine-bog deposits core, we found a layer of gravel with a clay-silt-sand filler. The granulometric composition indicates high hydrodynamic conditions of the its formation. Diatom analysis of the material, during which the shells of marine and brackish-water diatoms were discovered, complements the representation of the layer as a result of a tsunami.



## **Исследование площади льда Белого моря в зависимости от суровости зимы**

*Романюкина С.А. \*, Подрезова Н.А.*

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

\* e-mail: osksofia2001@gmail.com

Белое море наиболее обособленное внутреннее море Северного Ледовитого океана. Соединяется с Баренцевым морем на севере через узкий пролив — Горло. Лед в Белом море наблюдается обычно с ноября по май, однако бывают годы, когда он появляется в начале октября и исчезает в первой половине июля. В редкие годы весь лед тает на месте; в большинстве случаев он выносится в Баренцево море.

В работе исследуется межгодовая и сезонная изменчивости площади льда Белого моря в зависимости от суровости зимы. Исходными данными послужили: доступные нам среднемесячные значения площади льда Белого моря с 1978 по 2022 года (Арктический и Антарктический Научно-Исследовательский Институт Росгидромета), а также открытый архив ежедневных значений температуры атмосферы г. Архангельска с 1882 по 2022 года для расчета суммы градусо-дней мороза (СГДМ) путем сложения всех средних значений отрицательных температур за месяц. Также в работе проводилось разделение зим по суровостям.

Кривые изменчивости среднегодовой ледовитости Белого моря, а также СГДМ г. Архангельска показывают нам, что последние имеют отрицательные тренды. Максимальная ледовитость наблюдается зимой 1984/85 года и составляет 570 км<sup>2</sup>. Для этой же зимы соответствует и максимальное число СГДМ равное 2260. Минимальная ледовитость наблюдается зимой 2017/18 года и составляет 210 км<sup>2</sup>, что соответствует 1138 СГДМ. Минимальное же значение СГДМ наблюдается зимой 2019/20 года и составляет всего 713. Также отметим тот факт, что тренд ледовитости снижается гораздо сильнее тренда СГДМ.

Для анализа изменчивости СГДМ г. Архангельск было выбрано 3 различных по типу зим: суровая (1984/85), умеренная (1980/81) и мягкая (2019/20). С сентября по декабрь между умеренной и суровой зимами не наблюдается больших различий. Но уже в январе в суровую зиму СГДМ почти достигает значения 800 СГДМ, в то время как в умеренную зиму значения колеблются около 300 СГДМ. Февраль в суровую зиму показывает значения в 630 СГДМ, что говорит о продолжительных морозах в течении зимы. В апреле–мае значения во всех зимах не превышают 100 СГДМ. Максимум в мягкую зиму наблюдается в январе и составляет 220 СГДМ. Отметим, что в умеренную зиму с ноября по март не наблюдается пиков, и все значения СГДМ находятся в пределах 300.

В результате проведенного исследования, мы выделили трендовые компоненты, которые показывают сокращение льда Белого моря, а также уменьшение СГДМ в г. Архангельск. За последние 20 лет наблюдалось 3 суровые зимы, 11 мягких и 6 умеренных.

## **The investigation of the ice field of the White Sea depending on the intensity of the winter season**

*Romaniukina S., Podrezova N.*

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

The paper investigates the interannual and seasonal variability of the White Sea ice area depending on the severity of winter. The initial data were the average monthly values of the ice area of the White Sea from 1978 to 2022, as well as the daily values of the temperature of the atmosphere of Arkhangelsk from 1882 to 2022. The work also carried out the division of winters by severity.

## **Особенности океанологического режима беломорских полуизолированных приливных акваторий (залив Амазона и лагуна Кив)**

*Демченко А.Ю.\*, Чиканов Н.А., Смагин Р.Е., Петросян Н.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: anna.demchenko@niersc.spb.ru

В период с 24.06.2023 до 26.06.2023 были проведены океанологические и гидрохимические измерения на двух полуизолированных приливных акваториях Кандалакшского залива Белого моря: заливе Амазона и Кив-лагуне. Собраны данные по температуре, солености, уровню моря, а также были проанализированы пробы на концентрацию кремния и показатель поглощения желтого вещества (ЖВ). Целью работ было изучить особенности и различия гидрологического режима этих морских объектов.

Для залива Амазона, как части устьевой области реки Кереть, характерно заметное понижение солености в момент затока вод с невысокой соленостью (около 3‰), что говорит о поступлении распресненных вод из губы Лебязья и пролива Подпахта. На основании анализа полусуточного хода значений солености и показателя поглощения желтого вещества можно сделать вывод о том, что в залив периодически проникают распресненные воды реки Кереть. Анализ значений концентрации кремния также позволяет говорить о затоке таких вод.

Сравнивая показатели поглощения желтого вещества в Кив-лагуне ( $4,8-5,8 \text{ м}^{-1}$ ) с показателями поглощения желтого вещества в заливе Амазона ( $7,8-8,6 \text{ м}^{-1}$ ), можно сделать вывод, что в лагуне отсутствует источник притока аллохтонного желтого вещества. Скорее всего, из общей доли желтого вещества в лагуне Кив, большую долю занимает его автохтонная составляющая. В Кив-лагуне средняя концентрация кремния (около 1288 мкг/л) больше, чем в Амазоне (1142 мкг/л), что также говорит о большей доле собственного «морского» кремния.

Таким образом, гидрологический режим залива Амазона зависит от ритмики приливных процессов, а влияние заток распресненной воды выражается в колебаниях солености на поверхностном горизонте. В Кив-лагуне нет поступления речных вод, поэтому ее вертикальная структура вод формируется под действием морских факторов. Режим Кив-лагуны может оказаться типичным для полуизолированных приливных акваторий, и требуются дальнейшие его исследования.

## **Oceanological characteristics of the semi-isolated tidal water bodies Amazona and Kiv in White Sea**

*Demchenko A., Chikanov N., Smagin R., Petrosyan N.*

Saint Petersburg State University, Department of Oceanography, Saint Petersburg

We examined that the hydrological regime of Amazona Bay depends on tidal processes, the influence of fresh water flows is evident by the changes of river water origin tracers and surface salinity. Kiv lagoon, in its turn, is purely “marine” semi-isolated type of tidal lagoon.

## **Взаимодействие речных и морских вод в губе Кереть (по данным натурных измерений за 2022–2023 годы)**

*Иванов К.Д.<sup>1,2\*</sup>, Виноградов М.В.<sup>1,3</sup>, Куимова Е.С.<sup>1</sup>, Смагин Р.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, лаборатория физики льда, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург

\* e-mail: kirch2000@gmail.com

Для поверхностного слоя губы Кереть характерно распреснение морских вод речным стоком. В июле 2022 г. группой исследователей (Лебедева и др., 2022) был проведен эксперимент, выявляющий особенности пространственного распределения разнородных вод для летнего сезона. В июле 2023 года реализован аналогичный эксперимент для сравнения с работой предыдущего сезона. Была выполнена океанологическая съемка, состоящая из 17 станций, на которых было произведено STD-зондирование, с целью получения вертикальных профилей температуры и солености, отбор проб воды на кремний, соленость и желтое вещество с поверхностного горизонта, а также определение прозрачности при помощи диска Секки. В настоящей работе представлены обобщенные результаты исследований для летних сезонов 2022 и 2023 гг.

Показано, что в летние сезоны пространственное распределение температуры в поверхностном слое, в целом, имеет схожий характер, однако, в 2023 г. ареал относительно теплых вод Керетской губы уменьшается в размерах и смещается ближе к устью реки. Локальный минимум температуры в проливе Подпахта смещается в сторону моря, в заливе Амазона усиливается стратификация. Июль 2023 г., в сравнении с июлем 2022 г., характеризуется значительно более низкими температурами для поверхностного слоя (6,0–6,5 °С против 14,0–16,2 °С, соответственно).

Общий характер пространственного распределения солености также сохраняется для обоих исследуемых годов. Однако, в 2023 г. отмечено существенно меньшее распреснение воды в сравнении с 2022 г. Минимальные межгодовые различия наблюдаются в устьевой зоне реки Кереть, а максимальные — в наиболее мористой части исследуемого района.

Также выявлено снижение концентрации желтого вещества (ЖВ) на всей исследуемой акватории в 2023 г. по сравнению с 2022 г. Максимальные отклонения значений наблюдались в устье реки Кереть, Керетской губе, на Большом Керетском рейде и проливе Сухая Салма (4,5–5,0 м<sup>-1</sup>), минимальные — в проливе Подпахта и заливе Амазона (2,5–3,0 м<sup>-1</sup>).

В 2023 г. было отмечено повышенное содержание кремния по сравнению с 2022 г. Зарегистрирована значительная неоднородность в поле распространения кремния по устьевой области — выделено два аномально высоких пика концентрации: приустьевой и в проливе Подпахта.

Показанные в работе межгодовые изменения солености и желтого вещества свидетельствуют об уменьшении мощности пресноводного стока реки Кереть. Однако, изменение в поле кремния говорит об обратной тенденции. Такими образом, мы считаем необходимым проведение дополнительных исследований в данной акватории.

## **Interaction of river and sea waters in Keret Bay (according to field measurements in 2022–2023)**

*Ivanov K.<sup>1,2\*</sup>, Vinogradov M.<sup>1,3</sup>, Kuimova E.<sup>1</sup>, Smagin R.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Oceanology Department, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Arctic and Antarctic Research Institute, Laboratory of Ice Physics, Saint Petersburg

<sup>3</sup> State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Saint Petersburg

This work summarizes the results of studies of the distribution of river waters in the Keret Bay in the summer seasons of 2022 and 2023. Data from field measurements obtained during oceanological surveys were used.

## **Анализ данных океанографических характеристик в губе Кереть летом 2023 г.**

*Шляпин С.А. \*, Смагин Р.Е.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: st097822@student.spbu.ru

В акватории губы Кереть в летний сезон ежегодно выполняются океанологические разрезы (от устья реки Кереть до выхода в море) с отбором проб на соленость, желтое вещество и концентрацию кремния.

22.06.2023 г. был выполнен океанологический разрез (6 станций) с отбором проб воды с поверхностного горизонта. В лабораторных условиях была рассчитана соленость (через определение относительной электропроводности), концентрация кремния (метод Муллина-Райли в модификации Стрикленда и Пирсона) и желтого вещества (через определение оптической плотности). Было выявлено, что в поверхностном слое величины солености закономерно убывают по направлению сужения пролива Средняя Салма (выход в море) (5,933‰) к устью Керети (0,100‰). Показатель поглощения желтого вещества в целом увеличивается от моря (12,9 м<sup>-1</sup>), к реке (17,7 м<sup>-1</sup>), что говорит о доминировании там речных вод. Однако несколько выбивается значение на середине разреза, равное 19,3 м<sup>-1</sup> (т. №4). Предположительно это может быть связано с феноменом циркуляции Ленгмюра и отбором пробы с локальной области конвергенции, где происходит скопление частиц взвешенной органики.

Ход значений концентрации кремния отличается от хода других характеристик тем, что сначала идет возрастание значений от 967,9 мкг/л в Средней Салме, до 1157,9 мкг/л в точке №4, затем происходит падение до 772,116 мкг/л в точке №1 (минимальное значение). Как и в случае со значениями показателя поглощения желтого вещества, наблюдается скачок концентрации кремния до 1509,063 мкг/л в точке №3, что также предположительно связывается с циркуляцией Ленгмюра.

Подводя итоги анализа, можно сказать, что в случае данного разреза отмечается постепенный переход от более распресненных речным стоком поверхностных вод губы Кереть к поверхностным осолоненным водам пролива Средняя Салма. Это подтверждают изменения показателей приведенных трассеров — желтого вещества и кремния.

## **Analysis of oceanographic data in Keret Bay section in Summer 2023**

*Shlyapin S., Smagin R.*

Saint Petersburg State University, Department of Oceanography, Saint Petersburg

We examined that there is a gradual transition from the more freshened surface water of the Keret Bay by the river runoff to the more saline surface waters of the Srednyaya Salma Strait. This is confirmed by changes in the indicators of the described tracers.

**Изучение гнездовой активности белой трясогузки *Motacilla alba ocularis* в условиях полярного дня с использованием фотоловушек**

Никеева Н.В.<sup>1\*</sup>, Дубинин Е.А.<sup>1,2</sup>, Барыкина Д.А.<sup>2</sup>, Соловьева Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный государственный университет, Магадан

<sup>2</sup> Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан

\* e-mail: tashanik0319@gmail.com

Белая трясогузка *Motacilla alba* — некрупная (16,5–18 см весом до 24 г) воробьиная птица из семейства *Motacillidae* (Балацкий, 1999). Ее гнездовой ареал охватывает почти всю Евразию. В арктической зоне Дальнего Востока гнездится самый восточный и малоизученный подвид *Motacilla alba ocularis*, который относительно недавно заселил Арктику. В тундровой зоне зачастую гнездится в антропогенном ландшафте.

Птицы высоких широт гнездятся в уникальных условиях полярного дня, что дает им возможность бодрствовать большее количество времени, чем южные подвиды. В более низких широтах суточная активность белой трясогузки делится на промежутки с низкой и высокой интенсивностью. Дневная активность начинается в 4–5 ч поясного времени и заканчивается в 22–23 ч (Кузнецова, 2002).

Исследование было проведено на о. Айопечан (68°50' с.ш., 170°30' в.д.), Чаунская низменность, ЧАО на базе Чаунского биологического стационара ИБПС ДВО РАН. Для изучения суточной активности ежегодно с 2018 мы отлавливали и кольцевали птиц, а также устанавливали фотоловушки фирмы Reconix PC90 на активные гнезда. В данной работе были проанализированы данные о поведении трех гнездовых пар белой трясогузки. Фотоловушки у гнезд проработали суммарно 1439,3 ч. Обработано 35070 медиафайла.

Суммарно 90% времени в инкубационный период трясогузка проводит в гнезде, что совпадает с результатами исследований в более южных широтах (Кузнецова, 1994). Смена партнеров на гнезде в инкубационный период происходит в среднем 16 раз в день. Вылупление первого птенца в среднем приходилось на 21 июня, что соответствовало срокам вылупления в более низких широтах (Кузнецова, 1994, Чернышов, 2011).

**Nesting activity of the white wagtail *Motacilla alba ocularis* in polar conditions using camera traps**

Nikeeva N.<sup>1</sup>, Dubinin E.<sup>1,2</sup>, Barykina D.<sup>2</sup>, Solovyeva D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Northeastern State University, Magadan

<sup>2</sup> Institute for Biological Problems of the North, FEB. RAS, Magadan

We used modern methods of observing bird nesting. We were able to find out the nesting features of the white wagtail under polar day conditions. We compared the periods of activity of Arctic birds with birds of lower latitudes and understood how the polar day affects the incubation activity of the white wagtail.

## **Оценка функционирования и перспективы модернизации системы мониторинга китообразных Западного сектора Российской Арктики**

*Липкина А.Е.<sup>1\*</sup>, Мандрыка О.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра геоэкологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

\* e-mail: lina.lipkina.01@mail.ru

В настоящее время Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ), и особенно ее Западный сектор, сталкиваются с двумя трудно разрешимыми проблемами: быстрым экономическим развитием и необходимостью сохранения уязвимой арктической природы. Одним из путей гармонизации этих двух процессов является мониторинг биоразнообразия, рассмотренный на примере наблюдений за китообразным в Западном секторе Российской Арктики.

Акватория Западного сектора Российской Арктики представлена четырьмя морями, принадлежащими к бассейну Северного Ледовитого океана: Белым, Баренцевым, Печорским и частью Карского.

Для оценки эффективности проводимого мониторинга на изучаемых акваториях был проведен двухсторонний анализ источников имеющихся данных о живых встречах китообразных и методах ведения мониторинга.

Данные о живых встречах с представителями изучаемого отряда поступают с ООПТ, пунктов наблюдения за морскими млекопитающими, заказных и научных экспедиций, а также от экологов через специализированные приложения. Характеристики встреч, введенные в систему фиксации на ООПТ, были взяты за эталонные, данные о живых встречах, поступающие от других источников, были приведены к соответствующему виду. Такое сравнение позволило выявить сильные и слабые стороны каждого из источников информации о китообразных.

Выбор метода зависит от природно-климатических и физико-географических факторов, а также от имеющихся ресурсов. Наибольшей универсальностью для использования на изучаемой акватории обладают метод береговых учетов для наблюдения с суши (ООПТ) и метод судовых учетов (Экспедиции и туристические суда).

Несмотря на повышенный интерес к изучению китообразных существующая система мониторинга имеет ряд недостатков.

Во-первых, большинство проводимых наблюдений имеют кластерный характер. На данный момент нет единой системы мониторинга путей миграции китообразных, а большинство имеющийся информации о живых встречах хранится в закрытых системы фиксации данных.

Во-вторых, недостатком мониторинговых данных является разобщенность во времени. Комплексные исследования морских млекопитающих чаще всего проводятся разово и не ставят в приоритет долгосрочные наблюдения за китообразными с определенной периодичностью.

Результатом проводимого исследования стала разработка карты-схемы Единой системы мониторинга китообразных.

Предлагаемая система мониторинга основана на двух принципах: единство и гибридность.

Предложенная модель Единой системы мониторинга китообразных предполагает разделение акватории на зоны в зависимости от основного источника поступления информации о китообразных: ООПТ, акватории СМП, акватории развития экотуризма и акватории подконтрольные пункту наблюдения за морскими млекопитающими. Также для каждой зоны предписаны наиболее подходящие методы наблюдений.

Для внедрения такой системы необходимо утверждение на государственном уровне специальной программы, направленной на сохранения китообразных. Также повышению эффективности мониторинга китообразных в Арктике будет способствовать создание международных программ, объединяющих интересы нескольких стран.

## **Assessment of the functioning and prospects of modernization of the cetacean monitoring system in the Western sector of the Russian Arctic**

*Lipkina A.<sup>1</sup>, Mandryka O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

The intensive exploitation of the Arctic waters threatens large marine mammals, cetaceans being the most vulnerable. Research presented focuses on revision and modernization a monitoring system for cetaceans in the Western sector of the Russian Arctic in order to preserve their biodiversity.

## Частотно-байесовский анализ больших серий радиоуглеродных дат по останкам крупных млекопитающих четвертичной фауны

Павлюков Г.К.<sup>1,2\*</sup>, Данилов Г.К.<sup>3</sup>, Цыганкова В.И.<sup>1</sup>, Вартанян С.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан

<sup>2</sup> Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан

<sup>3</sup> Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: georgiyavlyukov@gmail.com

В многолетнемерзлых отложениях хорошо сохраняются различные останки, преимущественно костные, представителей мамонтового комплекса. Этот материал подходит для проведения качественного радиоуглеродного датирования и получения репрезентативных серий дат по различным видам млекопитающих. В пределах действия <sup>14</sup>C метода, большой набор данных позволяет говорить о времени присутствия и вымирания, флуктуации ареалов и относительной численности таких характерных представителей мегафауны как мамонт *Mammuthus primigenius*, шерстистый носорог *Coelodonta antiquitatis*, бизон *Bison* sp. (MacPhee et al., 2002; Sher et al., 2004; Mann et al., 2013).

Распределение радиоуглеродных дат при оценке динамики относительной численности часто представляют в виде частотной гистограммы (Vartanyan et al., 2008; Nikolskiy et al., 2011; Puzachenko et al., 2021), которая показывает количество датировок, попадающих во временной интервал без использования статистической ошибки измерения <sup>14</sup>C возраста. Результаты анализа оказываются зависимы от размера выбранного интервала и его границ, а для древних дат обычно ошибка уже соизмерима с размером выбранного интервала. Этот недостаток можно убрать, используя сумму плотностей вероятностей SPDF (Summed Probability Density Function), но при этом появляются высокочастотные шумы, из-за острых нормальных распределений, лежащих в основе некалиброванных радиоуглеродных дат с маленькой ошибкой. Для решения этих проблем при представлении серии радиоуглеродных дат было предложено (Ramsey, 2017) использовать ядерную оценку плотности KDE (Kernel Density Estimation) в совокупности с одним из методов Монте-Карло для марковских цепей (MCMC) — алгоритм Метрополиса — Гастингса. В результате автор получил смесь частотного (KDE) и байесовского (MCMC) подходов для оценки плотности распределения. Данная функция реализуется в программе OxCal 4.4 с помощью команды KDE\_Model.

С помощью этого инструмента было проанализировано 86 датировок костных останков шерстистого мамонта с Северо-Западной Чукотки и острова Врангеля. Полученные результаты демонстрируют непрерывное присутствие и флуктуации относительной численности мамонтов в регионе от 45 т.л. (предел радиоуглеродного метода) до 14 т.л. назад.

## Frequency-Bayesian analysis of large series of radiocarbon dates on the remains of large mammals of the Quaternary fauna

Pavlyukov G.<sup>1,2</sup>, Danilov G.<sup>3</sup>, Tsigankova V.<sup>1</sup>, Vartanyan S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N.A. Shilo, FEB RAS, Magadan

<sup>2</sup> Institute of Biological Problems of the North, FEB RAS, Magadan

<sup>3</sup> Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography, Kunstkamera, RAS, Saint Petersburg

Using the KDE\_Model command in the OxCal 4.4 program, 86 finite radiocarbon dates were analyzed for the remains of the mammoth *Mammuthus primigenius* from the North-West Chukotka and Wrangel Island. The results demonstrate the continuous presence and fluctuations in the relative abundance of mammoths in the region from 45000 (limit of the radiocarbon dating method) up to 14000 calendar years BP.

## Characteristics of infection in marine and freshwater populations of the three-spine stickleback

### *Gasterosteus aculeatus* in the White Sea

Logvinenko A.<sup>1\*</sup>, Gordeev I.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Invertebrate Zoology Department, Moscow

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow

\* e-mail: andreylogv@yandex.ru

Several populations of the euryhaline three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* are known in the White Sea. These populations can be combined into two groups: freshwater and marine, with the latter including brackish-water. These two groups differ genetically (Terekhanova et al., 2014). In this regard, there is an interest in comparing the parasites of these populations. This study was carried out in the vicinity of the Lomonosov MSU White Sea Biological Station (WSBS) and of White Sea Biological Station “Kartesh” of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (“Kartesh”). In June 2022 and 2023, 53 individuals of freshwater stickleback, 50 marine individuals and 26 brackish-water individuals from the WSBS were dissected using standard parasitological methods. In June 2023, 45 marine specimens from the Kruglaya Inlet were dissected at the “Kartesh”. Parasite species were identified based on morphological characteristics, and the species of larval forms were further confirmed using molecular genetic methods: 28S and *cox1* gene analysis for cestodes, 28S and ITS1 for trematodes, and *cox2* for nematodes. Results to date showed that the core of the parasitic community of the marine stickleback at the WSBS was made up of nematodes of the Ascaridomorpha group: *Anisakis simplex* (prevalence 71%) and *Hysterothylacium aduncum* (prev. 53%). Trematodes *Hemiurus levinseni* (prev. 28%), *Lecithaster salmonis* (prev. 66%), and *Brachyphallus crenatus* (prev. 30%) were also quite common. From the cestodes, Plerocercoids belonging to the species *Rockacestus piriei*, according to molecular data (28S), (prev. 12%) and *Bothriocephalus scorpii* (prev. 20%) were quite common. Marine fish from “Kartesh” had the same parasites: *H. levinseni* (prev. 38%), *L. salmonis* (prev. 82%), *B. crenatus* (prev. 62%), *B. scorpii* (prev. 27%), and *R. piriei* (prev. 2%), *A. simplex* and *H. aduncum*. Brackish-water individuals near WSBS were rarely infected with freshwater parasites, apparently due to recent migration from the sea. However, two individuals infected simultaneously with marine nematodes and freshwater helminths (*Schistocephalus solidus* and *Diplostomum spathaceum*) were noted. Nematodes and trematodes of marine origin were found mainly in the brackish-water population: *A. simplex* (prev. 60%), *H. aduncum* (prev. 40%), *B. crenatus* (prev. 23%), *H. levinseni* (ext. 19%), and *L. salmonis* (prev. 81%). The parasite fauna of the freshwater population differed significantly from the marine and brackish-water populations and consisted of cestodes *S. solidus* (prev. 98%), metacercariae of *D. spathaceum* (prev. 24.5%), and adult *Phyllodistomum folium* (prev. 13%). Further processing of the collected material will allow us to draw reliable conclusions about the similarities and differences of stickleback infection in three populations.



**Разрушая гармонию литорали: метацеркарии *Himasthla elongata* (Trematoda: Himasthlidae) изменяют силу прикрепления хозяина (*Mytilus edulis*) к субстрату**

Федоров Д.Д. \*, Ковалев А.А., Николаев К.Е.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: daniil.fedorov@zin.ru

Широко известно, что метацеркарии трематод могут оказывать патогенный эффект на второго промежуточного хозяина, а также изменять его поведение. При заражении второго промежуточного хозяина, *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758, церкарии *Himasthla elongata* (Mehlis, 1831) Dietz, 1909, по большей части, инцистируются в ноге и, вполне вероятно, повреждают биссусную железу хозяина (Lauckner, 1983). В нашем исследовании была предпринята попытка оценки влияния заражения метацеркариями *H. elongata* на силу прикрепления к субстрату и активность биссусообразования у мидий.

Материалом для исследования послужили 150 моллюсков *M. edulis* одной возрастной когорты — 3 года, со средней длиной раковины — 27,1 мм. Мидии свободные от заражения трематод были собраны с искусственных субстратов марикультуры возле ББС ЗИН РАН «Картеш». Половина моллюсков, была подвержена лабораторному заражению церкариями *H. elongata*, а остальная половина послужила контролем. После чего моллюски были помещены в подвесной садок и содержались на глубине около 2 метров в течение года. При постановке эксперимента, моллюски экспонировались на искусственных субстратах (в индивидуальных ячейках на керамических пластинах) в течение одного, трех и шести дней. Затем у мидий измерялась сила прикрепления к субстрату (пиковое значение в момент отрыва от субстрата) при помощи электронного динамометра (МЕГЕОН 53020, Россия), а также учитывалось количество образованных каждой мидией биссусных бляшек, на индивидуальных ячейках. После всех измерений мидии были вскрыты для определения интенсивности инвазии метацеркариями *H. elongata*.

Регрессионный анализ, основанный на методе взвешенных квадратов (WLS), показал, что мидии зараженные метацеркариями *H. elongata*, хуже прикрепляются, чем не зараженные ( $p < 0,05$ ). Время экспозиции также влияло на силу прикрепления, с увеличением экспозиции мидии сильнее прикреплялись к установке ( $p < 0,0001$ ). Максимальную силу прикрепления мидии демонстрировали на шестой день экспозиции. Зараженные мидии образовывали значительно меньше биссусных бляшек, чем мидии из контрольной группы (GLM с отрицательным биномиальным распределением,  $p < 0,05$ ). Время экспозиции также влияло на количество бляшек, с увеличением экспозиции мидии образовывали больше бляшек ( $p < 0,0001$ ). Максимальное количество биссусных бляшек моллюски образовали на шестой день экспозиции. В обоих случаях взаимодействия факторов выявлено не было.

Полученные результаты говорят о том, что метацеркарии трематоды *H. elongata* могут воздействовать на силу прикрепления и активность биссусообразования у *M. edulis*, что потенциально может, нарушить структуру поселения мидий под влиянием гидродинамического воздействия, а также способствовать элиминации зараженных моллюсков из зоны контакта с потенциальным окончательным хозяином.

**Destroying the littoral harmony: Metacercariae of *Himasthla elongata* (Trematoda: Himasthlidae) modify the strength of host (*Mytilus edulis*) attachment to the substrate**

Fedorov D., Kovalev A., Nikolaev K.

Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

We showed that metacercariae of *Himasthla elongata* reduce the attachment strength and number of byssal plaques in their host, *Mytilus edulis*. This may disrupt mussel settlement patterns under hydrodynamic influences.

## Восстановление загрязненных тяжелыми металлами почв в Арктической зоне РФ с использованием серпентинсодержащих материалов

*Петрова А.Г.*

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск  
e-mail: petrova\_anna93@mail.ru

Добыча и переработка полезных ископаемых предприятиями цветной металлургии связана с негативным воздействием на окружающую среду. Особенно острой эта проблема является для регионов, находящихся в Арктической зоне. В Мурманской области одним из основных источников загрязнения является медно-никелевое предприятие.

Полевой эксперимент проводился в 0,7 км от медно-никелевого предприятия ОАО «Кольская ГМК» (площадка Мончегорск). Естественная растительность на участке отсутствовала, почвенный покров представлен торфяной почвой. В эксперименте проведен анализ эффективности использования минерального материала, полученного при переработке отходов добычи флогопита для восстановления нарушенных земель. Эксперимент включал серии с 2 видами минерального материала: вермикулит-лизардитовый продукт (VL) и пироксеновый продукт, полученный при обогащении отходов добычи флогопита (PR).

На техногенной пустоши были сформированы почвосмеси путем смешивания загрязненного слоя торфяной почвы и минерального материала из горнопромышленных отходов. Доля минеральных материалов составляла 25, 50, 75 и 100 об. % в сериях. Растительный покров был создан из предварительно пророщенных семян *Festuca arundinacea* Schreb на вермикулите фракцией 0,45–2 мм. Для изучения содержания и подвижности тяжелых металлов (ТМ, меди и никеля) в почве использовалась почвенная вытяжка 1н HNO<sub>3</sub>.

С увеличением доли минерального материала в почвосмесях, величина биомассы увеличивалась. Во второй год эксперимента в серии VL составляла 813,52–1384,44 г/м<sup>2</sup>, а в серии PR — 804,48–1269,12 г/м<sup>2</sup>. Стоит отметить, что в вариантах 25 и 100% в серии PR значения биомассы находились примерно на одном уровне (474,36–456,52 г/м<sup>2</sup>).

В течение двух лет эксперимента наблюдалось снижение содержания меди в серии VL в 2 и 4 раза при внесении 25 и 50% минерального материала, а содержание никеля снизилось в 1,5 и 2 раза, соответственно. Однако, в вариантах с 75 и 100% долей материала концентрация меди и никеля увеличилась, что свидетельствует о депонировании этих металлов минеральным материалом. В серии PR также концентрации металлов снижались при увеличении доли минерального продукта в почвосмеси. В результате двух лет эксперимента концентрация меди (1275–1325 г/кг) и никеля (220–212,5 г/кг) в варианте с 25% долей материала не изменилась. В вариантах с 75 и 100% долями материала отмечено, что содержание меди возросло в 2,5 и 4 раза, а никеля в 2 и 1,5 раза, соответственно.

Эксперимент показал, что внесение вермикулит-лизардита и пироксенита снижает концентрацию меди и никеля в почве. Однако, эффективность этого метода может зависеть от типа материала и его доли в почве, а также от других факторов, таких как начальная концентрация металлов в почве и условия эксперимента. Дальнейшие исследования необходимы для определения оптимальных условий применения минеральных материалов для улучшения качества почвы и снижения загрязнения металлами.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФ21-07-10111 и частично поддержана из средств темы НИР №FMEZ-2022-0022.*

## Remediation of Arctic soils contaminated with heavy metals using serpentine-containing materials

*Petrova A.*

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk

The development of non-ferrous metallurgy and mining is inevitably associated with the disruption and formation of technogenically disturbed territories. In a field experiment, a method was proposed for using mineral material obtained from processing phlogopite mining waste to restore disturbed areas.

## **Формирование и сезонная динамика сообществ макрообрастания искусственных субстратов в верхней сублиторали Белого моря**

*Чава А.И.<sup>1\*</sup>, Захаров Г.Д., Озеров Д.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория экологии прибрежных донных сообществ, Москва

<sup>2</sup> Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

\* e-mail: [cribrilina@gmail.com](mailto:cribrilina@gmail.com)

В связи с возрастающим интересом к арктическим морям в последние десятилетия появляется все больше работ описывающих динамику сообществ обрастания в высоких широтах. Однако, информация по сообществам обрастания в Белом море скудна: немногочисленные экспериментальные исследования, посвященные обрастанию в Белом море, затрагивают первые 15–20 м, а обрастания на больших глубинах и изменения, происходящие в сообществах с увеличением глубины, изучены фрагментарно.

В нашей работе мы обратились к распространенному экспериментальному методу изучения обрастания — погружаемым в воду тест-пластинам. Опираясь на литературные данные по динамике сообществ обрастания на разных глубинах в арктических морях, мы предположили, что с увеличением глубины видовое разнообразие и покрытие обрастателей на пластинах будет снижаться, причем скорость этих изменений будет зависеть от сезона и расположения пластин на экспериментальной установке.

Мы проводили работы в 2022–2023 гг. районе ББС МГУ в двух точках, расположенных в районе мыса Киндо на глубинах 11 и 22 м. В начале июня 2022 года в каждой точке на дно была опущена одна экспериментальная установка — рама на которую крепятся пластины 15×15 см из ударопрочного полистирола, обращенные рабочей поверхностью ко дну или к толще воды. Дизайн эксперимента был спланирован таким образом, чтобы захватить все потенциальные пики оседания организмов-обрастателей в течение года. Мы оценивали таксономический и количественный состав обрастания на пластинах, измеряя площадь каждого организма и суммируя в дальнейшем все измерения.

За год исследований на пластинах было обнаружено 34 таксона беспозвоночных животных и водорослей, среди которых по разнообразию и покрытию преобладали мшанки и многощетинковые черви из семейства Spigorbidae. В соответствии с нашими предположениями проективное покрытие и видовое разнообразие организмов-обрастателей было достоверно ниже в более глубокой точке на всех временных срезах: месячных, сезонных и годовых. В обеих точках проективные покрытия обрастателей на пластинах, ориентированных рабочей поверхностью к дну, были достоверно выше, чем на пластинах, обращенных к толще воды. Покрытия в обеих точках за теплый и холодный сезон, а также за год не превышают 4% на нижних пластинах и 1% на верхних пластинах.

## **Formation and seasonal dynamics of macrofouling communities on artificial substrates in the upper subtidal of the White Sea**

*Chava A.<sup>1</sup>, Zakharov G., Ozerov D.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Laboratory of ecology of coastal benthic communities

<sup>2</sup> Pertsov White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University

We studied formation and seasonal dynamics of early developmental stages of macrofouling communities in the upper subtidal of the White Sea. We found out that species diversity and fouling coverage on the experimental plates decrease with increasing depth, and the rate of these changes depends on the season and plate orientation.

## **Значимость экологического туризма для регионов российской Арктики**

*Ширяевский Д.С.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск  
e-mail: dmitriy.shir29@gmail.com

Туристическая деятельность в Арктике может иметь негативные последствия для окружающей среды. Вот некоторые из них: загрязнение, разрушение природы через возведение инфраструктуры, сокращение биоразнообразия, негативное воздействие на коренные малочисленные народы Севера (КМНС) (Погожева и др., 2021; Зайков, 2021). В итоге все это приводит к изменению климата.

Экологический туризм (экотуризм) может выступать одним из инструментов сокращения негативного воздействия на арктические экосистемы. Данный вид туризма является значимым для Арктики по нескольким причинам: 1) Сохранение природы: Арктика является уникальной экосистемой, богатой разнообразием животного и растительного мира. Экологический туризм позволяет участникам лично увидеть эту красоту и понять важность ее сохранения. Туристы, увидевшие красоты Арктики, заинтересованы в ее охране и становятся активистами в борьбе за сохранение этой уязвимой природной системы (Грушенко, 2015); 2) Сохранение культурного наследия; 3) Поддержка местного населения (финансовая, материальная и т.п.); 4) Стимулирование исследований и экологического просвещения.

Экотуризм обеспечивает устойчивое развитие всех сфер общества. Он позволяет расширить инфраструктуру, улучшить услуги для туристов и повысить качество жизни местного населения (Евдокимова, 2019). При этом важно обеспечить баланс между туристической деятельностью и сохранением природы, чтобы минимизировать отрицательные воздействия на экосистему Арктики. К тому же экологический туризм может стимулировать экономическое развитие региона через повышение потока туристов и приток иностранного капитала. Это может способствовать созданию новых рабочих мест и инвестициям в туристическую инфраструктуру. Полученные финансовые средства могут также использоваться для финансирования охраны окружающей среды и устойчивых проектов в регионе.

В целом, экологический туризм играет важную роль в сохранении уникального природного наследия Арктики, поддержке местного населения и стимулировании устойчивого развития региона.

## **Importance of ecological tourism for the regions of the Russian Arctic**

*Shiryayevsky D.*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

With the increasing anthropogenic load on the Arctic territories of Russia, the importance of the development of ecological tourism in the Arctic is increasing. With its help, a number of problems can be solved and sustainable development of the Arctic regions of Russia can be achieved.

## Генетический полиморфизм в популяциях красной полевки особо охраняемых природных территорий Крайнего Севера

Чернявский Л.Ю.<sup>1\*</sup>, Жигилева О.Н.<sup>1</sup>, Левых А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет, кафедра экологии и генетики, Тюмень

<sup>2</sup> Научный центр изучения Арктики, Салехард

\* e-mail: chljj@mail.ru

Полевки — обычные представители палеарктической фауны. Данные о генетическом полиморфизме мелких млекопитающих Крайнего Севера представлены лишь в нескольких работах из-за труднодоступности территорий. Однако они представляют особый интерес в связи с уникальными природными условиями. Особую актуальность изучение генетического разнообразия северных экосистем приобретает для мониторинга и охраны генетических ресурсов на фоне происходящих в Арктике климатических изменений.

Мы провели исследование генетического полиморфизма красной полевки (*Myodes rutilus*) из восьми районов. Отлов полевок проводили в Западной Сибири на пяти территориях Ямало-Ненецкого автономного округа — ЯНАО: стационар «Стерх» (Куноватский заказник); г. Салехард, памятник природы «Ангальский мыс»; г. Надым, район Надымских сопков; 50 км от пос. Тазовский; заповедник «Малая Сосьва»; а также в Корякском автономном округе Камчатского края на территории Корякского государственного заповедника в трех районах: на побережье оз. Таловское; пойме р. Тылакрылваям; пойме р. Ичигин. Всего было изучено 199 особей.

Генетическую изменчивость полевок изучали методом ISSR-PCR по протоколам, описанным ранее (Zhigileva et al., 2020). Показатели полиморфизма: генетическое разнообразие ( $h$ ), процент полиморфных локусов ( $P$ ) и генетические дистанции ( $D$ ) рассчитаны с использованием программы PopGen32.

Наименьший уровень полиморфизма наблюдается у красной полевки, отловленной в пойме р. Тылакрылваям ( $P = 33\%$ ,  $h = 0,15$ ), а наибольший — в пойме р. Ичигин ( $P = 80\%$ ,  $h = 0,32$ ) и Куноватского заказника ( $P = 77\%$ ,  $h = 0,26$ ). Генетическое разнообразие в популяциях полевки п-ова Камчатка варьировало от 0,15 до 0,32, процент полиморфных локусов — в пределах 33–80%, что в среднем незначительно отличалось от показателей полевок Западной Сибири ( $h = 0,21–0,24$ ,  $P = 55–77\%$ ). Однако разброс значений в популяциях полевок Камчатки был выше, чем в Сибири. У полевок, пойманных в пойме р. Тылакрылваям, побережья оз. Таловского и р. Ичигин наблюдаются двукратные различия генетического разнообразия и высокие дистанции ( $D = 0,065–0,119$ ), что свидетельствует о принадлежности к разным популяциям и их изоляции, хотя расстояние между районами около 10 км. Это может быть связано с ландшафтными особенностями Камчатки, где миграции животных затруднены горами и геотермальными полями. Генетические дистанции между популяциями полевок Западной Сибири варьировали в широких пределах ( $D = 0,028–0,126$ ) и обусловлены изоляцией расстоянием и приуроченностью к разным природно-климатическим подзонам. Полученные данные свидетельствуют о большей уязвимости популяций полевок Камчатки по сравнению с популяциями Сибири.

## Genetic polymorphism in red-backed vole populations in specially protected natural areas of the Far North

Chernyavsky L.<sup>1</sup>, Zhigileva O.<sup>1</sup>, Levykh A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tyumen State University, Department of Ecology and Genetics, Tyumen

<sup>2</sup> Scientific Center for Arctic Studies, Salekhard

Genetic diversity in populations of *Myodes rutilus* on the Kamchatka Peninsula was 0.15–0.32, the percentage of polymorphic loci: 33–80%. These indicators in voles from Western Siberia were similar:  $h = 0.21–0.24$ ,  $P = 55–77\%$ . However, the spread of values in the vole populations of Kamchatka was higher than in Siberia.

## Первые результаты исследований популяционных характеристик девятииглой колюшки

### *Pungitius pungitius* L. в Кандалакшском заливе Белого моря

Надточий Е.В.<sup>1\*</sup>, Медведева М.А.<sup>1</sup>, Иванова Т.С.<sup>1</sup>, Иванов М.В.<sup>1</sup>, Лайус Д.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Estonian Marine Institute, University of Tartu, Эстония

\* e-mail: katya\_nadtochii@mail.ru

В данной работе представлены первые результаты изучения популяционных характеристик девятииглой колюшки в Кандалакшском заливе Белого моря.

Лов рыб производился равнокрылым неводом с размерами  $7 \times 1,5$  м в июне 2023 г. в окрестностях МБС СПбГУ на четырех прибрежных станциях. Всего было поймано 13 рыб. Оценивали половозрастную структуру, плодовитость и гонадосоматический индекс у самок, а также наличие полового диморфизма по форме и окраске тела.

Пол определяли при вскрытии в лабораторных условиях. Для определения возраста просматривали жаберные крышки под биноклем. У самок изучали индивидуальную плодовитость и рассчитывали гонадосоматический индекс как отношение массы гонады к массе тела рыбы без внутренностей (в процентах).

Окраску описывали визуально и количественно в цветовом пространстве CIE Lab в программе ImageJ. Для морфометрического анализа использовали разные промеры: стандартную длину тела, высоту головы, максимальную высоту тела, минимальную высоту тела, диаметр глаза и др. Для нивелирования влияния размеров особей все промеры были переведены в доли от длины тела.

По результатам исследований соотношение самцов и самок девятииглой колюшки оказалось близко к 1 : 1.

Возраст всех взрослых девятииглых колюшек, пойманных на нерестилищах, составил 3 или 4 года. Среди самцов преобладали трехлетние особи, а среди самок — четырехлетние (средний возраст  $3,4 \pm 0,5$  лет и  $3,8 \pm 0,4$  лет соответственно).

Среднее число крупных ооцитов на самку составило  $116 \pm 29$  шт. Средний гонадосоматический индекс девятииглой колюшки в изучаемой акватории составил  $0,12 \pm 0,014\%$ . Помимо крупных готовых к вымету ооцитов, в гонадах присутствовало много мелких ооцитов, что свидетельствует о растянутости и порционности нереста.

У большинства рыб наблюдалась стандартная криптическая окраска: темно-коричневая спина, светлое брюхо, полосы или сложный узор из сочетания темно-коричневых полос и пятен. Были обнаружены самцы с белыми брюшными колючками и черными пятнами на боках, что говорит о частичном проявлении брачной окраски. У самок примечательных элементов окраски не выявлено. Пропорции тела у самок и самцов достоверно не отличались, и половой диморфизм по форме тела у рыб не наблюдался.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-24-00956 «Обычная, но неизвестная рыба: девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* L. Белого и Балтийского морей — популяционные характеристики и роль в экосистеме».

## The first results of the population characteristics studies on the ninespine stickleback

### *Pungitius pungitius* L. in the White Sea

Nadtochii E.<sup>1</sup>, Medvedeva M.<sup>1</sup>, Ivanova T.<sup>1</sup>, Ivanov M.<sup>1</sup>, Lajus D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Estonian Marine Institute, University of Tartu, Estonia

This work presents initial findings on population characteristics of ninespine stickleback around St. Petersburg State University Marine Biological Station from 2021 to 2023. The study examined gender-age structure, fertility and gonadosomatic index in females, as well as sexual dimorphism in body shape and color.

## **Влияние гидроидного полипа *Halitholis cirratus* на скорость роста и выживаемость двустворчатого моллюска *Portlandia arctica***

Маньлова Я.А.<sup>1</sup>, Аристов Д.А.<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров». Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш»

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

*Halitholis cirratus* (ранее *Perigonimus yoldiaearcticae*) — вид гидроидных полипов, часто встречающийся на раковинах двустворчатых моллюсков в Белом море. Одним из видов-субстратов для *H. cirratus*, является двустворчатый моллюск *Portlandia arctica*. В предыдущих исследованиях было показано, что между колонией гидроида и моллюском-субстратом формируется тесная связь (Нинбург, 1975), однако вопрос о том, какое влияние комменсал оказывает на *P. arctica* подробно не изучен. Между тем известно, что эпибионты могут как снижать жизнеспособность базибионтов, так и повышать ее (Manning, Lindquist, 2003). Поэтому изучение влияния различных видов гидроидных полипов на моллюсков представляет интерес.

Целью стало выяснить, связан ли рост и выживаемость двустворчатого моллюска *Portlandia arctica* с наличием на раковине гидроидных полипов *Halitholis cirratus*.

В июле 2023 года мы собирали качественные выборки *Portlandia arctica* (живых особей и раковины) с глубины 11–14 м в окрестностях о. Ряжков. Измеряли длину раковин и подсчитывали количество полипов на живых особях, для створок отмечали наличие или отсутствие гидроризы, поскольку на мертвых особях не сохранялись гидранты. Всего было изучено 430 моллюсков/створок. В результате мы выяснили, что на более крупных особях гидрантов больше, чем на моллюсках небольшого размера. По-видимому, на мелких особях находятся молодые колонии полипов, которые еще не образовали больше количество гидрантов. На крупных моллюсках находятся более старые колонии, имевшие больше времени для образования гидрантов.

Чтобы проанализировать влияние наличия гидроризы на выживаемость мы построили модель, описывающую изменение доли пустых створок с увеличением размера моллюсков с/без гидроризы. У особей без гидроризы с увеличением размера возрастала доля мертвых моллюсков, для моллюсков с обрастателями такой зависимости не обнаружили. Таким образом, у обросших особей, в отличие от моллюсков без полипов, смертность не зависит от длины раковины.

Чтобы установить, как гидранты влияют на скорость роста, мы вычислили у живых моллюсков с обрастателями и без прирост раковины в высоту за 5 последних лет, определенный по годовым кольцам на внешней стороне раковины. Мы обнаружили, что по мере увеличения общей высоты раковины моллюска значения прироста уменьшаются, то есть мелкие особи прирастают быстрее крупных. С учетом этого, у моллюсков с гидроидными полипами прирост меньше, чем у особей без обрастателей. Таким образом, можно предположить, что наличие полипов на раковине связано с сниженной скоростью роста.

*Исследование выполнялось при поддержке гос. задания ЗИИ РАН №122031100283-9.*

## **Effect of the hydroid *Halitholis cirratus* on growth rate and survival of the bivalve *Portlandia arctica***

Manylova Y., Aristov D.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology and Hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”

We investigated the effect of the commensal hydroid *Halitholis cirratus* (*Perigonimus yoldiaearcticae*) on the survival and growth rate of the bivalve *Portlandia arctica*. We found that size-dependent mortality of hydroid-infected and uninfected *Portlandia arctica* differed. Also, the growth rate of the infected *Portlandia arctica* was lower.

## Двое в одной банке: конкуренция *Mytilus edulis* и *M. trossulus* в смешанных поселениях

Шилонцев А.А.<sup>1\*</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров». Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша

\* e-mail: andrey.shilontsev@yandex.ru

В Белом море обитает два вида мидий: *Mytilus edulis* (*ME*) и *M. trossulus* (*MT*). Считается, что *ME* — нативный вид, а *MT* — вид-вселенец. О взаимоотношениях *ME* и *MT* известно достаточно мало. Эти два вида могут формировать смешанные поселения, причем соотношение численностей двух видов может варьировать в очень широких пределах. Эта вариация может объясняться, в частности, конкурентными отношениями: в одних условиях побеждает один вид, в других — другой. В полевом эксперименте мы оценили уровень смертности двух видов в зависимости от соотношения численностей двух видов (таксономический состав) и общей плотности поселения моллюсков. Мидий рассадили в контейнеры (200×100×96 мм), которые были разбиты на три категории по соотношению численностей двух видов: *MT-dominated* (соотношение *MT:ME* 4:1), *Mixed* (1:1) и *ME-dominated* (1:4). В каждой категории садки были разделены на три группы, в соответствии с суммарным обилием двух видов (20, 60 и 120 особей на садок). Каждое сочетание было в 3 повторностях. В течение двух месяцев эти контейнеры содержались в условиях верхней сублиторали (глубина около 1 м). После окончания экспозиции мы оценили количество живых и мертвых мидий каждого вида в каждом контейнере.

Согласно построенной линейной модели, описывающей связь вероятности гибели мидии с ее видом, типом садка и плотностью поселения, смертность *MT* (в садках *MT-dominated*: 20,1%, *Mixed*: 18,0% и *ME-dominated*: 26,7% погибших моллюсков) оказалась статистически значимо выше, чем смертность *ME* (*MT-dominated*: 5,4%, *Mixed*: 4,9% и *ME-dominated*: 7,9%). Согласно этой модели, угловые коэффициенты регрессии, описывающей связь смертности с плотностью поселения, не отличались значимо от нуля для садков *ME-dominated* и *MT-dominated*. Однако была выявлена значимая положительная зависимость смертности как *MT*, так и *ME*, от плотности поселения в случае садков типа *Mixed*. То есть в условно одновидовых поселениях (*ME-dominated* и *MT-dominated*) смертность не зависела от плотности поселения, в то время как в смешанных поселениях (*Mixed*), по мере возрастания обилия, происходило увеличение смертности у обоих видов. Полученный результат хорошо согласуется с предположением о наличии высокой конкуренции между видами. Более сильным конкурентом, вероятно, является *ME*, смертность которой была значительно ниже во всех типах садков.

## Competition between *Mytilus edulis* and *M. trossulus* in mixed settlements

Shilontsev A.<sup>1</sup>, Khaitov V.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthic Ecology, “Krestovsky ostrov” Ecology and Biology centrum, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

In the field experiment we studied the dependence of death rate of *Mytilus edulis* and *M. trossulus* on mussel's abundance and species proportion. Density dependent death rate was revealed only in those cages where both species were presented in equal density.



## Влияние мидий на двигательные способности литоральных брюхоногих моллюсков

Бритиков А.И.<sup>1</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров». Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша

\* e-mail: polydora@rambler.ru

Из числа организмов, поселяющихся в плотных скоплениях беломорский мидий (*Mytilus edulis* и *Mytilus trossulus*), брюхоногие моллюски (Littorinidae и Hydrobiidae) являются наиболее многочисленными. Причины высокого обилия улиток в биоценозе мидий до конца не ясны. Одним из возможных механизмов может являться эффект ловушки (Хайтов, Артемьева, 2004): улитки заползают в скопления мидий и накапливаются там, будучи закрепленными биссусом. Предполагается, что это воздействие приводит к повышенной смертности улиток. Целью данной работы было выяснить как биссусное прикрепление влияет на двигательные способности моллюсков.

Материал был собран на илисто-песчаной литорали Южной губы острова Рязков в Кандалакшском заповеднике. Мы собирали мидиевые друзы с улитками, прикрепленными биссусом («Пленные»), а также литторин и гидробий, ползающих по грунту («Свободные»). Улитки из первого семейства были представлены только *Littorina saxatilis* (далее этих моллюсков будем обозначать термином «литторины»). В месте сбора материала могут встречаться два вида, представителей второго семейства: *Peringia ulvae* и *Ecrobia ventrosa*. Поскольку идентификация этих видов без нарушения жизнедеятельности моллюсков невозможна, то мы не различали эти виды, а обозначали всех использованных в экспериментах улиток из этого семейства, как «гидробии». Моллюсков из обеих групп помещали в центр пластины из оргстекла (пленных литторин и гидробий мы отрывали из мидиевой друзы), погруженной в контейнер с морской водой (момент помещения улитки на пластину рассматривался, как инициация эксперимента). Над контейнером располагалась видеокамера. Запись запускали в момент начала движения улитки и фиксировали время от инициации эксперимента до начала движения. Видеозапись заканчивалась в момент выхода улитки за пределы пластины, либо через две минуты после начала записи. В программе LevenhukLite на видео прорисовывали трек перемещения животного. Для этого трека оценивали его длину и вариацию углов направления движения (стандартное отклонение). Полученное значение длины трека делили на продолжительность времени движения, что давало оценку скорости.

Для литторин было выявлено статистически значимое различие между «Плененными» и «Свободными» в скорости движения, вариабельности углов направления и времени, прошедшем от инициации. Все три показателя были значимо ниже у пленных моллюсков. Для гидробий значимых различий найдено не было. Таким образом биссусное прикрепление не воздействует на гидробий, но оказывает негативное влияние на литторин.

Наше исследование показало, что гидробии, могут находиться в друзах без значимых последствий для их физиологической активности. Эти улитки, даже будучи прикрепленными, не испытывают стресса. В скоплениях мидий эти улитки могут находить обильную пищевую базу. Иная картина наблюдается в случае литторин. Ранее нами было показано, что «пленные» улитки демонстрируют снижение активности питания. В текущей работе мы показали снижение уровня других физиологических процессов. Это свидетельствует о том, что эффект ловушки, как негативное влияние со стороны мидий, справедлив только для литторин.

## Effect of mussels on locomotor abilities of littoral gastropod mollusks

Britikov A.<sup>1</sup>, Khaitov V.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthic Ecology, “Krestovsky ostrov” Ecology and Biology centrum, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

Two groups of intertidal snails were studied: attached and free. It was found that the speed, variability of movement's direction and pre-start time in attached were suppressed in comparison with free group. No significant differences were found in Hydrobiidae.

## Трансмиссивная неоплазия у мидий *Mytilus trossulus* в Охотском море в районе г. Магадан

Александрова П.Н. \*, Сказина М.А., Хайтов В.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, Санкт-Петербург

\* e-mail: a.lexandrova55894@gmail.com

Трансмиссивный рак (СТС) — инфекционное онкологическое заболевание, при котором инфекционными агентами являются сами раковые клетки, некогда возникшие у особи — «нулевого пациента» рака. СТС — редкое заболевание, отмеченное у домашних собак, тасманийского дьявола и нескольких видов двустворчатых моллюсков (Metzger et al., 2016). У двустворчатых моллюсков это заболевание носит название трансмиссивная неоплазия, или BTN. BTN проявляется как диссеминированная неоплазия (DN), лейкемия-подобное заболевание, поражающее гемолимфу; по мере развития болезни неопластические клетки замещают нормальные гемоциты и инфильтрируют все ткани и органы моллюска. У неопластических клеток, в отличие от нормальных гемоцитов, наблюдаются аномальные цитоскелет, форма и размеры и повышенная плоидность. У мидий *Mytilus trossulus* известны 2 независимо возникшие линии BTN, MtrBTN1 и MtrBTN2; внутри второй также выделяют 2 «штамма» — MtrBTN2.1 и MtrBTN2.2.

Наши знания о BTN невелики, мало изучена она и в морях России. В 2021 году DN и BTN были обнаружены у *Mytilus trossulus* в Охотском море (Skazina et al., 2022).

В продолжение этих исследований в 2023 году в окрестностях г. Магадан было собрано 1424 мидии из 14 разных поселений, у каждой взяты образцы гемолимфы и тканей ноги. Нашими задачами было диагностировать DN и BTN у этих мидий и провести анализ разнообразия BTN и заболеваемости мидий в поселениях в сравнении с данными прошлых лет.

DN диагностировали по присутствию в гемолимфе анеуплоидных клеток, которое выявлялось методом проточной цитометрии. Для особей с DN для подтверждения BTN проводили COI-тест на гетероплазмацию (Skazina et al., 2022). Тест заключается в генотипировании по COI-фрагменту мтДНК гемоцитов и показывает наличие аллелей, уникальных для разных линий и штаммов MtrBTN.

В 2023 году заболеваемость DN у мидий в окрестностях Магадана составила 5,48%, BTN — 4,07%, были обнаружены все генотипы рака: MtrBTN1, MtrBTN2.1 и MtrBTN2.2. Распределения частот генотипов BTN среди зараженных мидий в разных поселениях значимо не различались ( $\chi^2$ тест,  $p > 0,5$ ). В то же время поселения существенно различались по заболеваемости BTN ( $\chi^2$ тест,  $p < 0,01$ ). Это позволяет предполагать, что распределение BTN неслучайно.

В материале найден первый в истории случай двойного заражения мидии разными линиями рака (BTN1 и BTN2.1). Это примерно соответствует ожидаемой вероятности такого заражения при условии независимого инфицирования, учитывая заболеваемость этими линиями.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (19-74-200-24).*

## Transmissible neoplasia in *Mytilus trossulus* mussels near Magadan (Sea of Okhotsk)

Aleksandrova P., Skazina M., Khaitov V.

Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Saint Petersburg

New data were obtained on the prevalence and genetic diversity of BTN in mussels *M. trossulus* in the vicinity of Magadan (Sea of Okhotsk). All BTN genotypes were detected, including the first case of double infection in one mussel. Populations did not differ in the frequency of BTN genotypes, but differed significantly in the frequency of BTN occurrence.

## Частота оседания церкарий семейства Notocotylidae на раковины двух видов беломорских гидробиид в эксперименте

Зенков Е.А.<sup>1,2\*</sup>, Семенова Е.В.<sup>1</sup>, Полоскин А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Эколого-биологический центр “Крестовский остров”, Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет Санкт-Петербург

\* e-mail: julzenkov1@yandex.ru

В Белом море встречены два вида гидробиид (Mollusca: Caenogastropoda): *Peringia ulvae* и *Ecrobia ventrosa*. Сходные жизненные стратегии, приводят к тому, что эти улитки часто встречаются в совместных поселениях, при этом между ними возникают конкурентные отношения (Fenchel, 1975). Оба вида являются первыми промежуточными хозяевами нескольких видов трематод, в том числе, представителей семейства Notocotylidae. При реализации их жизненного цикла церкария, вышедшая из улитки, инцистируется на поверхности подводного субстрата. Переход в окончательного хозяина происходит, если он поедает субстрат с цистами паразита. В Белом море встречается несколько видов трематод из этого семейства, метацеркарии которых могут в экспериментальных условиях оседать на поверхность разнообразных объектов, в том числе раковины гидробиид (Gonchar, Galaktionov, 2016).

Нами были проведены эксперименты, в ходе которых церкариям, выходящим из зараженной улитки-донора, в качестве субстратов оседания в равном соотношении предоставлялись по пять особей, принадлежащие к разным видам гидробиид в каждом экспериментальном садке. В качестве доноров использовались представители обоих видов моллюсков. Всего было проведено 3 эксперимента, в которых в качестве доноров выступали зараженные *P. ulvae* (6 доноров), и один с донорами *E. ventrosa* (3 донора). Таким образом суммарное количество акцепторов составило 270 особей. Виды нотокотилид, участвовавших в эксперименте, были определены не во всех случаях, однако все доноры, у которых удалось определить заражение при вскрытии в конце всех экспериментов (4 особи) были заражены видом *Paramonostomum alveatum*. Для каждого моллюска по окончании эксперимента отмечалось количество и положение осевших на нем цист.

Была обнаружена тенденция к более частой встречаемости цист на поверхности раковин *P. ulvae*, в случае если донорами выступали моллюски этого же вида. Для *E. ventrosa*, цисты в большинстве случаев также преобладали на раковинах конспецификов донора. Эта тенденция наблюдается и в том случае, если исключить из рассмотрения всех доноров, для которых не удалось определить заражение в конце всех экспериментов. Метацеркарии могут оседать на любые участки раковин гидробиид, однако частота инцистирования сильно варьирует на разных участках. Непропорционально больше метацеркарий обнаруживается на первом обороте, на участке напротив устья, который, судя по всему, обращен к субстрату при движении моллюска. Обсуждаются возможные варианты объяснения этих результатов.

## Frequency of encysting Notocotylidae cercaria on shells of two species of Hydrobiidae in experimental conditions

Zenkov E.<sup>1,2</sup>, Semyonova E.<sup>1</sup>, Poloskin A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology and Hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Saint Petersburg

We compare the frequency of encystment of Notocotylidae (Digenea) cercaria on shells of two similar species of the mudsnails *Peringia ulvae* and *Ecrobia ventrosa* in experiment. This parameter is higher in *P. ulvae*. The number of metacercariae on different parts of the shell may differ from expectations based on the relative surface area of these sites.

**Сигнальный путь cWnt участвует в молекулярной разметке личинки и колонии гидроида**

***Dynamena pumila***

Ветрова А.А.<sup>1,2\*</sup>, Лебедева Т.С.<sup>3</sup>, Кремнев С.В.<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт биологии развития РАН, лаборатория эволюции морфогенезов, Москва

<sup>3</sup> Венский университет, Вена

<sup>4</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра эмбриологии, Москва

\* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Одним из основных процессов, происходящих во время развития животного, является установление молекулярной разметки плана строения. Колониальные гидроидные полипы (Cnidaria: Hydrozoa), отличающиеся непрерывным ростом и морфогенезом на протяжении всей жизни колонии, являются удобными модельными объектами для сравнительных исследований эволюции механизмов, определяющих разметку тела.

Колонии гидроидов образованы прикрепленными к субстрату столонами, на которых через определенные промежутки расположены отдельные зоиды колонии или побеги, несущие большое число зоидов. Побег заканчивается особым специализированным органом, верхушкой роста, циклическая морфогенетическая активность которого обеспечивает формирование новых узлов колонии и определяет ее архитектуру.

У обладающего архитектурно сложной колонией беломорского гидроида *Dynamena pumila* морфогенетические процессы приводят к разделению верхушки роста на три зачатка: центральный становится новой верхушкой роста, а два боковых — зачатками гидрантов. Мы исследовали участие канонического Wnt каскада (cWnt) в молекулярной разметке плана строения *D. pumila*. С помощью филогенетического анализа мы обнаружили в транскриптоме *D. pumila* кодирующие последовательности 11 генов Wnt: *wnt1*, *wnt2*, *wnt3*, *wnt4*, *wnt5*, *wnt6*, *wnt7*, *wnt8*, *wnt11a*, *wnt11b* и *wntA*. Далее для некоторых этих генов, а также для генов компонентов сигнального пути cWnt были получены пространственные паттерны экспрессии в личинке, в верхушке роста побега и прочих частях колонии.

Оказалось, что гены лигандов Wnt и компонентов сигнального пути cWnt осуществляют разметку орально-аборальной оси личинки на всем ее протяжении. Так, гены *wnt1* и *wnt8* экспрессируются в аборальном регионе личинки, что отличает молекулярную разметку оси тела у гидроидов (*D. pumila*) от кораллов (*N. vectensis*). У кораллов гены лигандов Wnt экспрессируются только в оральной половине личинки.

Мы получили подробную картину молекулярной разметки верхушки роста побега *D. pumila*. Паттерны экспрессии генов *wnt7* и *brachyury2*, ассоциированные с областями формирования гидрантов, показывают, что верхушка роста побега предразмечена с первых этапов морфогенеза. По мере деления верхушки на три зачатка сигнал экспрессии компонентов сигнального пути cWnt сохраняется в боковых зачатках гидрантов, но пропадает в центральном зачатке верхушки роста. Вероятно, это исчезновение связано с обнаруженной нами экспрессией в центральном зачатке эндогенных ингибиторов сигнального пути cWnt. Паттерны экспрессии гена *wnt2* в разных частях колонии и в ходе метаморфоза позволяют предположить, что экспрессия этого гена может быть ассоциирована с формированием границ в колонии у *D. pumila*.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФ 23-74-10046.*

**cWnt signaling in molecular patterning of the larva and the colony of hydrozoan *Dynamena pumila***

Vetrova A.<sup>1,2</sup>, Lebedeva T.<sup>3</sup>, Kremnyov S.<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Institute of Developmental Biology RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution, Moscow

<sup>3</sup> University of Vienna, Vienna

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Department of Embryology, Moscow

We studied cWnt signaling in molecular patterning of the larva and the complex colony of hydrozoan *D. pumila*. We demonstrate that Wnt genes pattern oral-aboral axis of the larva along its entire length. Expression of cWnt signaling downstream genes is associated with hydranth formation in the colony.

## **Role of FGF signaling in regulation of the transcriptional profile during regeneration of the polychaete *Alitta virens***

*Shalaeva A. \*, Kozin V.*

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: shalaeva.sasha@gmail.com

FGF pathway is known to have many functions in vertebrate development and regeneration. Some of its main roles are mesoderm induction in embryonic development, establishment of the axial anteroposterior gradient, and initiation of blastema formation in regeneration. Almost all those functions are shown exclusively for vertebrate models, invertebrates on the other hand, are addressed only in developmental context. That's why our aim in unravelling functions of FGF pathway in invertebrate regeneration helps to answer a key question in determining its conservative and novel aspects.

*Alitta virens* is well established experimental model of posterior regeneration in annelids. We used pharmacological inhibitor SU5402, that affects FGF receptor and thereby inhibits the entire pathway (Shalaeva et al., 2021). Then we fixed samples after various periods of exposure and performed whole mount in situ hybridization with chosen genes of interest. Genes of interest were selected by their activation during the key stages of regeneration: formation of wound epithelium (1), that induces blastema formation (2), and cellular differentiation and subsequent segmentation of the newly formed regenerative bud (3).

We discovered that FGF pathway doesn't affect genes involved in posteriorization (*Avi-cdx*, *Avi-post2*, *Avi-evx*) so that their transcription is activated in the wound epithelium on the early stages of regeneration. However, genes that are normally induced in blastema, such as *Avi-vasa*, *Avi-piwi* (markers of undifferentiated cells) and *Avi-twist* (marker of mesodermal cells) undergo changes in expression patterns, either losing them entirely or modifying them due to the absence of regenerative bud in treatments immediately after amputation. But if we postpone pharmacological influence even by one day after amputation, it is enough for activation of the aforementioned gene's expression. Differentiation of the blastema is also affected by inhibition of the FGF pathway. The segment boundary marker *Avi-en*, (Kairov, Kozin, 2023) narrows its domain on the ventral side, and on the dorsal side loses expression entirely.

These results show that FGF pathway is necessary not only for the formation of the mesodermal derivatives, but also for establishing pool of undifferentiated cells, that later undergo differentiation, and for segmental patterning. Restoration of the posterior axial values however seems to be independent of this pathway, which contradicts the data obtained on other regeneration models.

*This research was funded by the RSF grant 23-74-10046.*

## Свидетельства консервативности функций Wnt-сигналинга в развитии полихеты *Alitta virens*

Кайров А.И.<sup>1,2\*</sup>, Козин В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва

\*e-mail: kayrov.tw@yandex.ru

Wnt-сигналинг выполняет множество функций как во взрослом организме, так и в ходе развития. На множестве организмов было установлено, что компоненты канонического Wnt-сигналинга участвуют в дифференцировке зародышевых листков, паттернировании переднезадней и анимально-вегетативной оси, а также в процессе терминального роста и сегментации. Большинство этих обобщений было основано на данных, полученных на представителях Deuterostomia и Ecdysozoa, тогда как данных о роли Wnt в развитии Lophotrochozoa (включая аннелид) немного.

Целью данной работы стало изучение роли Wnt-сигналинга у аннелиды *Alitta virens* в различные периоды развития. Для изучения роли Wnt мы использовали ингибиторный анализ, в ходе которого модулируются различные компоненты Wnt-сигналинга, следствием чего является гиперактивация или подавление сигнала. Для обработки было выбрано три временных окна: период дробления, период раннего личиночного развития и период начала анаморфного роста.

Обработки в период дробления приводили к разным результатам: от незначительных изменений формы тела до нарушения закладки дефинитивных осей тела и экзогастрюляции. Совместно с анализом экспрессии различных генов-маркеров это свидетельствует о неправильном ходе гастрюляционных морфогенезов. Кроме того, процесс сегрегации зародышевых листков шел с нарушениями.

Гиперактивация Wnt в ходе раннего личиночного развития приводила к развитию несегментированных личинок вместо сегментированных метатрохофор. При этом, подавление Wnt не приводило к таким результатам. Более того, на основе данных по экспрессии различных молекулярных маркеров было установлено, что Wnt-сигналинг обладает постериоризирующим влиянием на тело личинки. Результаты экспериментов в период формирования первого постларвального сегмента (начала анаморфного роста) также говорят о постериоризирующем влиянии Wnt в этот период развития. Однако влияние Wnt различается во время формирования ларвальных и постларвальных сегментов: так, при гиперактивации или подавлении Wnt во время раннего личиночного развития происходит соответствующее расширение или уменьшение метамерных доменов экспрессии гена *engrailed* (гомолога гена полярности сегментов членистоногих); при воздействии модуляторами Wnt в ходе формирования первого постларвального сегмента такого не происходит, несмотря на отсутствие сегмента.

Полученные данные свидетельствуют о консервативности функций Wnt в разные периоды развития *A. virens*. Wnt вовлечен в паттернирование переднезадней оси тела, участвует в сегрегации зародышевых листков и в контроле за гастрюляцией. Кроме того, Wnt участвует в построении сегментированного плана строения тела; однако по другим признакам (в частности, характер экспрессии *engrailed*) сегментацию не следует считать консервативной чертой Bilateria, поскольку сравнительный анализ дает основания полагать, что в разных филогенетических ветвях Wnt был независимо кооптирован в программу развития сегментов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-74-10046 на УНБ «Беломорская» СПбГУ и РЦ ММ СПбГУ.

## Evidence for conserved Wnt signaling functions in the development of the polychaete *Alitta virens*

Kairov A.<sup>1,2</sup>, Kozin V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow

Wnt signaling is an ancient signaling pathway that plays key roles during animal development such as axis patterning, germ layers segregation and segmentation. Here we investigated the role of Wnt signaling during development of the polychaete *Alitta virens*, focusing on the cleavage, early and late larval stages.

## Развитие нервной системы *Marenzelleria* sp. (Annelida, Spionidae)

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

Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: barmasovagalina@yandex.ru

Аннелиды рода *Marenzelleria* представляют собой комплекс близких видов, широко распространенных в водах Северной Атлантики. С середины XX века наблюдается активное расселение этих спионид от побережий Северной Америки, и на сегодняшний день их можно обнаружить повсеместно в водах Северной Европы, в том числе в Балтийском и Белом морях (Radashevsky et al., 2022). Такой успех при расселении *Marenzelleria* sp. связан с ее способностью переносить очень сильное распреснение. К комплексу видов *Marenzelleria* относятся три близкородственных вида: *M. arctica*, *M. neglecta* и *M. viridis*, различимые на взрослых стадиях по морфологическим признакам (Sikorski, Bick, 2004) и местообитанию.

Целью нашей работы стало изучение развития нервной системы у *Marenzelleria* spp. Данная аннелида является удачным объектом для подобного исследования, так как обладает длительной планктонной стадией: оседание происходит на стадии 18-сегментной ювенили.

Сбор личинок *M. arctica* и *M. neglecta* проводили по южному берегу Финского залива с 2019 года. Исследование развития нервной системы проводили с использованием антител к тубулину, серотонину и FMRFамиду. Препараты изучали при помощи конфокального лазерного микроскопа Leica TCS SP5.

Находясь в яйцевых оболочках, претрохофора приобретает способность к активному передвижению за счет ресничек. Уже на этой стадии наблюдаются первая пара FMRFамид- и серотонинергических нейронов в области прототроха. На стадии трохофоры и метатрохофоры появляются FMRFамид-положительные элементы в составе формирующейся брюшной нервной цепочки и церебрального ганглия. Нектохета *Marenzelleria* spp. обладает развитым окологлоточным кольцом и подглоточными нервами. 4- и 5-сегментные личинки демонстрируют наличие сформированных стволов брюшной нервной цепочки с несколькими парами крупных тел нейронов, расположенными в центральной части тела личинки. На этапе 10–12 сегментов ювенили обладают полностью сформированной нервной системой, включающей церебральный ганглий, ганглии туловищного мозга и множественные периферические нервы. Принимая во внимание гипотезу о последовательном появлении нейромедиаторов в развитии нервной системы аннелид и обнаружение изученных нами нейромедиаторов на такой ранней стадии развития, как претрохофора, мы можем предположить, что у *Marenzelleria* spp. серотонин- и FMRFамид-положительные элементы закладываются одними из первых.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Таксон» ЗИИ РАН и при использовании коллекционных материалов Зоологического института РАН (Санкт-Петербург, Россия). Работа выполнена в рамках темы госзадания № 122031100281-5.

## Development of nervous system of *Marenzelleria* sp. (Annelida, Spionidae)

Barmasova G., Starunova Z., Shunkina K., Starunov V.

Zoological Institute RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

We studied distribution of serotonin- and FMRFamid-positive elements of nervous system during development of an annelid *Marenzelleria* spp. using immunohistochemistry method. The first neurons appear at the stage of pretrochophore, whilst metatrochophore owns forming ventral nerve cord and cerebral ganglion, and nervous system of a juvenile is fully formed.

## Материнские РНК в ооцитах и ранних эмбрионах *Platynereis dumerilii*

Муллахметов Р.И.<sup>1\*</sup>, Кондакова Е.А.<sup>2</sup>, Кулакова М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, кафедра цитологии и гистологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: st096301@student.spbu.ru

Нереидная аннелида *Platynereis dumerilii* — относительно новый модельный объект из группы спиральных животных (Spiralia). Развитие *P. dumerilii* активно изучается с морфологической и молекулярной точек зрения. Зиготический геном *P. dumerilii* «молчит» до стадии ~ 100 с лишним клеток (10 часов после оплодотворения), и успех протекания более ранних этапов развития червя зависит от материнских РНК, запасенных в цитоплазме ооцитов. Ооциты *P. dumerilii* содержат большое количество материнских РНК (8–10 нг на клетку), среди которых есть транскрипты генов «домашнего хозяйства» и регуляторные транскрипты. Известно, что у других модельных животных (крыса, *Xenopus*, *Drosophila*) материнские РНК необходимы для оогенеза и ранней спецификации клеточных линий. При этом запасаение, метаболизм и транспорт материнских РНК контролируется совокупностью рибонуклеопротеиновых комплексов, получившей название nuage (фр. *облако*). РНК-связывающие белки, специфичные для линии половых клеток (например Vasa), также локализуются в nuage и входят в состав полярной плазмы. В настоящее время нет подробных исследований, посвященных способам хранения и динамике локализации материнских РНК у спиральных животных. В данной работе мы обратились к изучению материнских РНК в ооцитах *P. dumerilii*, репрезентативного представителя клады Spiralia.

На начальном этапе работы мы использовали классические гистохимические и флуоресцентные методы окрашивания чтобы получить общее представление о том, как организованы ооцит, зигота и ранние эмбрионы червя. Мы использовали основной краситель гематоксилин, окрашивающий базофильные клеточные структуры фиолетовым цветом, и спиртовой кислый краситель эозин, окрашивающий эозинофильные структуры клетки красно-розовым цветом. В ооцитах и ранних эмбрионах червя оксифильно окрасились ядра и белки, локализованные по периферии клеток. Хроматин внутри ядра, зона вокруг ядра и кислые полисахариды из кортикальных гранул окрасилась базофильно. Самое интенсивное окрашивание мы наблюдали вокруг ядер, что косвенно указывает на большое количество запасенных материнских РНК. Локализацию РНК мы подтвердили при помощи флуоресцентных красителей TO-PRO-1 (окрашивает РНК и ДНК), и Hoechst 33342 (только ДНК). Далее мы проследили динамику распределения РНК после оплодотворения и первых делений дробления (зигота, 2 бластомера, 4 бластомера).

Материнские РНК, локализованные вокруг ядра в ооцитах *P. dumerilii*, могут свидетельствовать о наличии у этого червя структуры nuage. Наши результаты закладывают фундамент для будущих исследований nuage в ооцитах *P. dumerilii* и других спиральных животных.

Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда (проект № 23-24-00426). Авторы выражают благодарность РЦ РМукТ и ЦКП «Хромас» за помощь в визуализации полученных данных.

## Maternal RNAs in oocytes and early embryos of *Platynereis dumerilii*

Mullakhmetov R.<sup>1</sup>, Kondakova E.<sup>2</sup>, Kulakova M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Department of Cytology and Histology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Department of Embryology, Saint Petersburg

Using histochemical and fluorescent staining techniques, we localized the pool of maternal RNA at different stages of *Platynereis dumerilii* development. We found that maternal RNA clusters around the nucleus. The nature of its distribution may indicate the existence of nuage, a territory where the fate of oocyte transcripts is controlled.



## **Analysis of MAP-kinase signaling cascade activity and regulation during the development of *Ophelia limacina* (Spiralia, Annelida)**

Greenberg M. \*, Shalaeva A., Kozin V.

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: greenerkk@gmail.com

The Spiralia group is intriguing due to its paradoxical nature: despite being one of the most diverse Bilateria groups, many animals within this clade exhibit highly stereotypical embryonic development. A unique feature of spiralian embryogenesis is that it leads to formation of embryos with four-fold radial symmetry, later transitioning into an adult bilateral symmetry. The MAP-kinase cascade, a conservative signaling pathway, has been demonstrated to play a role in this transition across various Spiralia species, being involved in dorsoventral axis establishment by D-quadrant organizer. The mechanisms controlling MAPK activation alongside its conservative effectors largely remain unclear. Yet, recent studies have indicated that the FGF pathway might regulate MAPK activation in several Spiralia species. A broader phylogenetic sampling is required for comprehensive understanding of the role and regulation of MAPK in the Spiralia development.

Here we studied the pattern of MAPK activation during cleavage and gastrulation in the White Sea homoquadrant-cleaving annelid *Ophelia limacina*. The presence of MAPK activity in embryos was detected by antibodies against the active form of MAP kinase ERK. Additionally, we analyzed expression pattern of FGF and MAPK signaling components in *O. limacina* transcriptome across consecutive developmental stages. Furthermore, we characterized phenotypic disruptions in larvae that were treated with the MAPK inhibitor U0126 during cleavage stages.

We identified 2 periods of MAPK activity during the cleavage of *O. limacina*. The first period initiates at the 16-cell stage, when we observed an identical distribution of the ERK signal across all embryo quadrants. Second period starts at the 44-cell stage with MAPK activity being mostly localized in the D quadrant, corresponding to the presumptive dorsal side of the embryo with the most intense signal in the 4d cell. Accordingly, molecular landmarks of dorsoventral polarization emerge significantly earlier than the first morphological manifestation of bilateral symmetry at the 76-cell stage.

Transcriptomic analysis revealed that FGF, FGFR, and MAPK transcripts are present at all stages starting from the unfertilized egg. Timings of MAPK activation and its peak activity correlates with upregulation of zygotic expression of FGF components. These findings align consistently with existing information about MAPK regulation in *Lottia peitaihoensis* and *Owenia fusiformis*.

Analysis of morphology of 3-days old trochophores treated by U0126 revealed disruptions affecting the development of the digestive system and the formation of the hyposphere. We can assume involvement of MAPK in morphogenesis of dorsocaudal structures, but not its determining role in dorsoventral axis establishment in *O. limacina*.

*The study was performed at the WSBS MSU and Research Center of Microscopy and Microanalysis SPbSU and was funded by the RSF (grant number 23-74-10046).*

## Репертуар генов *Pax6* у аннелид

Беттхер А.М. \*, Костюченко Р.П.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: anboet@mail.ru

Понимание общих закономерностей развития нервной системы в ходе эмбриогенеза и постэмбрионального развития, включая регенерацию, у разных видов является одной из важных задач биологии развития. Существует ряд ключевых генов, участвующих в нейрогенезе, которые выполняют различные функции, критически важные для спецификации нейрональных клеток-предшественниц (NPCs), поддержания пролиферации NPCs и спецификации нейрональных клеток.

Гены *Pax6* кодируют транскрипционные факторы, распознающие специфичные последовательности ДНК, и играющие важную роль в развитии центральной нервной системы, сенсорных структур, органов чувств и некоторых других основных систем организма на разных стадиях онтогенеза животных. Эволюционно консервативная функция этих генов в развитии глаза была неоднократно показана в различных экспериментах и послужила отправной точкой становления Evo-devo. Интересно, что дубликации гена *Pax6* как у позвоночных, так и беспозвоночных животных, встречаются сравнительно редко.

У аннелид наличие гена *Pax6* и характер его экспрессии были до сих пор показаны лишь для нескольких видов полихет и пиявок. Используя транскриптомный анализ для нескольких видов кольчатых червей (включая беломорскую *Alitta virens*, а также олигохет из числа наидид и энхитреид), мы показали, что, как и у пиявок, у олигохет, в отличие от nereidids, имеются паралоги *Pax6*. Последнее, вероятно, говорит о появлении дублицированных форм этого гена у общего предка клителлят и разделении функций между паралогичными генами *Pax6*. Наши данные по анализу экспрессии генов *Pax6* с помощью РНК-гибридизации *in situ* указывают на существенные различия в молекулярном паттерне и морфогенезе вентральной нервной цепочки в процессе развития нервной системы у nereidids и энхитреид, как во время эмбрионального развития, так и при передней и задней регенерации. Выявленные различия во временном и пространственном характере экспрессии паралогов *Pax6* у олигохет могут указывать на потенциальное разделение функций дублицированных генов.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ 24-24-00149 с использованием оборудования РЦ РМиКТ СПбГУ.

## *Pax6* gene repertoire in annelids

Boettcher A., Kostyuchenko R.

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

In this study, we showed that *Pax6* gene is presented by paralogs in oligochaetes, while it is a single copy gene in nereidids. Using whole-mount *in situ* hybridization, we found that paralogs demonstrate differential expression during embryogenesis and regeneration in enchytraeids that may indicate the functional diversification of duplicated genes.

## **Анализ изменений в энергетическом метаболизме в тканях моллюсков *Littorina* spp.**

### **в связи с заражением трематодами**

Репкин Е.А.<sup>1,2\*</sup>, Кочергина Н.А.<sup>1,2</sup>, Гранович А.И.<sup>1</sup>, Мальцева А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий», Санкт-Петербург

\* e-mail: eepkin53@gmail.com

Заражение паразитами является серьезным стрессорным фактором для организма. Паразитарная инвазия влияет на физиологию и биохимию хозяина, включая энергетический метаболизм. Один из способов количественно оценить уровень стресса и изменений в энергетическом метаболизме организма — это анализ «энергетического баланса» (cellular energy allocation, CEA). CEA представляет из себя разницу между количеством гликогена, белков и триглицеридов в тканях (т.е. основными запасующими клеточными веществами) и активностью работы электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) митохондрий (т.е. интенсивностью потребления кислорода при аэробном окислении субстратов). Можно предположить, что заражение паразитами приведет к значительным изменениям в энергетическом метаболизме хозяина — как в количествах запасующих веществ в тканях, так и в активности ЭТЦ. Для того, чтобы выявить данные изменения и оценить их количественно, мы использовали анализ CEA применительно к паразито-хозяинной системе «моллюски литторины — трематоды».

В ходе исследования нами проведен модифицированный анализ CEA (без учета количества белков) на основе относительных значений обилия запасующих веществ для моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Littorinidae), здоровых и зараженных трематодой *Microphallus pygmaeus* (Trematoda, Microphallidae). Изменения в процессах энергетического обмена, вызванные заражением определенным паразитом разных видов хозяев, могут различаться, что, в свою очередь, может иметь последствия на уровне функционирования паразитарной системы в целом, в связи с чем исследование затрагивало два вида моллюсков — *Littorina saxatilis* и *L. obtusata*. Материал был собран и заморожен в парах азота на побережье Баренцева моря. В исследовании использовались ткани головы и ноги моллюсков. Активность ЭТЦ и количество триглицеридов и гликогена оценивали с помощью колориметрических методов. По результатам исследования уровни CEA не отличались значимо между зараженными и незараженными моллюсками. Тем не менее, можно отметить тенденцию к снижению активности ЭТЦ, а также количества триглицеридов и гликогена в тканях зараженных литторин. Полученные результаты обсуждаются в контексте влияния паразита на энергетический метаболизм хозяина, а также отличий в воздействии трематод на разные виды паразитирующих хозяев.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №19-14-00321 (рук. А.И. Гранович).*

## **Cellular energy allocation (CEA) in the tissues of the mollusks *Littorina* spp.**

### **after the trematode infection**

Repkin E.<sup>1,2</sup>, Kochergina N.<sup>1,2</sup>, Granovitch A.,<sup>1</sup> Maltseva A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Centre for Molecular and Cell Technologies, Saint Petersburg

The work is focused on the parasite-host interactions in a trematode-mollusk model. Two periwinkle species, *Littorina saxatilis* and *L. obtusata*, either healthy or infected with trematodes *Microphallus pygmaeus*, were examined. Cellular energy allocation (CEA) assay was used to evaluate the impacts of parasitic invasion on host energy metabolism.

## Влияние трематоды *Microphallus pygmaeus* на голобионта: страдает ли кишечный микробиом литторин от паразитарной инвазии в улитке

Зубова Е.В.<sup>1\*</sup>, Гафарова Е.Р.<sup>1</sup>, Курячий Д.С.<sup>1</sup>, Репкин Е.А.<sup>1,2</sup>, Гранович А.И.<sup>1</sup>, Мальцева А.Л.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий», Санкт-Петербург

\* e-mail: zubova.15@list.ru

Трематоды рода *Microphallus* используют в качестве промежуточных хозяев различных гастропод. Известно, что эти паразиты могут «манипулировать» своими хозяевами, оказывая влияние на метаболизм, размножение, движение и питание этих животных. Заражение может приводить к паразитарной кастрации, влиять на размеры и рост раковины улиток, контролировать перемещение хозяина по литорали. Все эти изменения со стороны трематод необходимы для успешной трансмиссии паразита в окончательного хозяина.

Несмотря на то, что многие аспекты влияния трематодной инвазии на физиологию и поведение улиток хорошо изучены, рассмотрение влияния трематод на гастропод как на целостный организм в составе голобионта, ранее не проводилось. Голобионт — состоящая из хозяина и связанного с ним сообщества микроорганизмов система, которая может взаимодействовать с биотическими и абиотическими факторами среды как единое целое. В нашем исследовании мы использовали литоральных гастропод *Littorina saxatilis* и *L. obtusata* и микробиом пищеварительной системы этих гастропод в качестве модели, отображающей влияние трематод *Microphallus pygmaeus* на голобионта.

Мы предположили, что улитка и ее микробиом отвечают на заражение паразитом как единая система. В качестве пилотного исследования для проверки этой гипотезы мы решили выяснить, какие последствия для микробиома пищеварительной системы моллюсков влечет заражение *M. pygmaeus*. Индивидуальные кишечные образцы в количестве 56 штук (фрагменты задней кишки зараженных и незараженных *L. obtusata* и *L. saxatilis* с верхнего и нижнего уровня литорали, по 7 повторностей) были собраны в августе 2021 года на побережье Баренцева моря. Для анализа состава кишечного микробиома неинфицированных и инфицированных *Microphallus pygmaeus* моллюсков двух видов рода *Littorina* был использован 16S рДНК метабаркодинг. Анализ показал, что состав кишечных бактерий различался как у зараженных и незараженных улиток, так и между видами *L. saxatilis* и *L. obtusata*, но не зависел от уровня литорали. Бактерии рода *Nitrospiraceae* были в большей степени характерны для *L. obtusata*, а бактерии рода *Rhizobiaceae* оказались характерны для *L. saxatilis*. В бактериомах кишечника обоих видов моллюсков инфекция *M. pygmaeus* приводит к снижению численности бактерий из родов *Psychromonas*, *Psychrilyobacter* и *Halochromatium*. Мы предполагаем, что снижение обилия этих родов может повлиять на способность улиток рода *Littorina* переваривать их пищевой объект. Закономерности в изменении таксономического состава кишечного микробиома в связи с трематодной инвазией позволяют предположить, что действие паразита на промежуточного хозяина следует рассматривать не только как на отдельный организм, но как на голобионта.

## The effect of the trematode *Microphallus pygmaeus* on the holobiont: does the intestinal microbiome of littorina snails suffer from parasitic invasion

Zubova E.<sup>1</sup>, Gafarova E.<sup>1</sup>, Kuriachii D.<sup>1</sup>, Repkin E.<sup>1,2</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>, Maltseva A.

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Research Park, Centre for Molecular and Cell Technologies, Saint Petersburg

We studied the effect of *Microphallus pygmaeus* infection on *Littorina* snails and their microbiomes as on an integral system, holobiont. Metabarcoding analysis of the gut-associated microbiome of *L. saxatilis* and *L. obtusata* revealed the changes in bacteriome composition probably caused by infection.

**Master manipulator: effects of a rhizocephalan barnacle *Peltogaster reticulata* on the host nervous system (comparative transcriptome analysis of abdominal ganglia of healthy and infected hermit crab *Pagurus minutus*)**

Golofeeva D.<sup>1\*</sup>, Lianguzova A.<sup>2,3</sup>, Gafarova E.<sup>2</sup>, Miroliubov A.<sup>3</sup>, Nesterenko M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg

<sup>4</sup> HiLIFE - Institute of Biotechnology, University of Helsinki, Helsinki

\* e-mail: golofeevad@gmail.com

Rhizocephalans are highly specialized parasites that stand out among Metazoa, showing a unique example of host manipulation. These parasites infect various marine crustaceans (most often, representatives of Decapoda). The parasitic stage is represented by the adult female, whose body is divided into two functional parts: externa, a sac-like reproductive body carried outside the host's body, and interna, a system of tubular rootlets located in the host's haemocoel. The interna rootlets rarely mechanically damage the host's tissues and organs, the exception is nerve tissue: rootlets penetrate the host's nervous ganglia, forming specialized sites of contact with the nervous system. The presence of such sites could allow rhizocephalans to affect many aspects of infected individual vital functions, including hormonal status, reproductive cycle and host's behavior.

Using the RNA-seq we investigated molecular mechanisms of interaction between *Peltogaster reticulata* (Rhizocephala: Peltogastridae) and the nervous system of the hermit crab *Pagurus minutus* collected in the Sea of Japan. We performed *de novo* assembly of the *P. minutus* abdominal ganglia transcriptome by three assemblers (Trinity, RNA-Bloom, and rnaSPAdes). The resulting transcriptome consists of clustered contigs with the high quality and the completeness score assembled by three tools. Open reading frames identification in obtained reference transcriptome and the search of protein products against databases determined 5684 proteins.

The differential expression analysis of protein-coding genes for both male and female infected individuals showed a decrease in the number of active biological processes. These results are consistent with data on parasitic castration and, in some cases, complete destruction of the gonads of infected hosts. Among the processes suppressed in infected hosts compared to healthy ones are those responsible for the reproduction and ageing, as well as those involved in cytokine and apoptotic pathways and immunity regulation. As mentioned above the interna rootlets do not directly damage host tissues and organs except nervous tissue. Our results confirm that suppression of the reproductive system may occur due to the initial inhibition of the processes associated with reproduction through altered signalling in the nervous system. Comparison of healthy males and females of *P. minutus* revealed significant differences in the number of molecular processes in the compared groups. Meanwhile, molecular processes are not significantly different between infected males and females. Thus, infection with *P. reticulata*, probably, eliminates the sex differences between the hermit crabs at the molecular level.

*The study was funded by the grant RSF 24-24-00133.*

## Первые данные о репродукции морских анемонов в аквариумах Ленинградского зоопарка

Попадич С.А.<sup>1\*</sup>, Неведова Е.А.<sup>2,3</sup>, Гонобоблева Е.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> СПб ГБУК «Ленинградский зоологический парк», Санкт-Петербург

\* e-mail: st090393@student.spbu.ru

В морских аквариумах Ленинградского зоопарка обитает пять видов анемонов, или актиний (Cnidaria, Anthozoa, Hexacorallia, Actiniaria). Среди них есть виды столь активно размножающиеся, что аквариумисты называют их «сорными актиниями». В аквариумах зоопарка это три вида: *Anemonia majano*, *Entacmea quadricolor*, *Aiptasia* sp. В естественных условиях эти анемоны демонстрируют различные репродуктивные стратегии и способы бесполого размножения.

Целью исследования является — расширение знаний об репродуктивных циклах «сорных» актиний. Полученные данные будут сравниваться уже имеющимися в открытых источниках. Все прошлые работы проводились в естественных местах обитания этих тропических актиний. Мы же посмотрим, как анемоны прижились в аквариумах, поменялись ли их репродуктивные стратегии. Опишем сперматогенез и оогенез.

Для этого мы провели наблюдения более чем за сотней живых экземпляров, и выполнили фиксацию, заливку, препарирование 46 особей трех перечисленных видов в мае и ноябре 2023 года. Были использованы рутинные гистологические методы, парафиновые срезы окрашивались гематоксилином Карацци и докрашивались спиртовым раствором эозина. Прижизненные наблюдения анемонов проводились непосредственно в аквариумах и с помощью стереомикроскопа.

Первые данные показали, что *E. quadricolor* и *A. majano* размножаются бесполом способом путем продольного деления. Делящиеся экземпляры актиний наблюдаются в аквариумах круглогодично. Расхождение дочерних особей начинается с ротового диска и распространяется к подошве у *E. quadricolor*, а у *A. majano* процесс деления происходит в противоположном направлении. У *Aiptasia* sp. обнаружено бесполое размножение путем лацерации. При перемещении актинии от ее подошвы отделяются фрагменты с средним диаметром 0,8 мм, которые затем преобразуются в миниатюрный полип.

В апрельских сборах мы обнаружили половозрелые экземпляры *Aiptasia* sp. Этот вид оказался раздельнополым, в одной особи присутствовали ооциты на поздних стадиях вителлогенеза, а в другом экземпляре на мезентериях были обнаружены множество цист с мужскими половыми клетками на завершающих этапах сперматогенеза. Оогенез и сперматогенез проходят у этого вида синхронно.

Какие-либо стадии гаметогенеза или эмбрионального развития в зафиксированных в апреле экземплярах *E. quadricolor* и *A. majano* не обнаружены.

На основе первых полученных данных можно заключить, что в аквариумах Ленинградского зоопарка *Aiptasia* sp. размножается половым и бесполом способами, а *E. quadricolor* и *A. majano* размножаются бесполом способом. В будущем мы надеемся получить более полные данные о репродуктивных циклах морских анемонов в условиях аквариальной культуры. Полученные данные позволят приступить к изучению частных аспектов размножения перечисленных видов актиний.

## The first data on the reproduction of marine anemones in aquariums of the Leningrad Zoo

Popadich S.<sup>1</sup>, Nefedova E.<sup>2,3</sup>, Gonobobleva E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

<sup>3</sup> SPb GBUK “Leningradski Zoologicheski Park”, Saint Petersburg

There are species of actively reproducing “weed anemones”. We have started a study on their reproduction. Based on the first data it can be concluded that in the aquariums of the Leningrad Zoo, *Aiptasia* sp. reproduces both sexually and asexually, and *Entacmea quadricolor*, *Anemonia majano* reproduce asexually.

**Geographical distribution of some *Carex* sect. *Ceratocystis* Dumort. species in the North of European Russia**

*Evnikova I.*<sup>1\*</sup>, *Domashkina V.*<sup>1,2</sup>, *Leostrin A.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg

\* e-mail: inna.evnikova@gmail.com

*Carex* L. is one of the largest and widespread genera of flowering plants, numbering about 2000 species, of which more than two hundred are now found in Russia. Carices dominate and codominate in various plant communities and sometimes shape plant cover, especially in Arctic and Subarctic regions. The phenomenon of hybridization, a driving force of plant evolution, is widespread in sedges including *Carex*. While sterile hybrids are common, fertile ones could be found only in some groups, including section *Ceratocystis* Dumort. In the North of European Russia, there are several species of the section, namely *C. flava* L., *C. serotina* Merat., *C. bergrothii* Palmgr., *C. scandinavica* Dav., *C. jemtlandica* Palmgr., *C. hostiana* DC., as well as some of their hybrids. The study of the distribution of representatives of the section in Russia will make it possible to clarify their ranges and identify potential hybrid zones.

In the course of the study, the specimens stored in Russian herbarium collections (LE, LECB, MW, IBIW, and SYKO) were revised. In 2023, original material was collected in the Murmansk region and the Republic of Karelia. Moreover, we used relevant published and open source data covering species geography. Distributional data for studied taxa has been collected for Northern European Russia, namely, the Republic of Karelia, Murmansk Region and Arkhangelsk Region, and the Komi Republic. A comparative analysis of the obtained data with the available literature data for studied regions was carried out. Spatial and temporal trends in herbarium specimens accumulation were studied, and spatial distribution of species and their hybrids was mapped.

We found that the number of species per region varies from two (the Komi Republic and Arkhangelsk Region) to five (Murmansk Region and the Republic of Karelia). Hybrid individuals are currently known from the Republic of Karelia, Murmansk and Arkhangelsk Regions, though reliable data on their distribution is very scarce. In the studied section, *C. flava* is the most common and widespread species, while all other species, especially *C. hostiana* and *C. jemtlandica*, are rare and scatteredly distributed.

## **Видовой состав лишайников на деревьях рода *Malus* в Петрозаводском городском округе (Республика Карелия)**

*Беляева Т.А.\*, Андросова В.И.*

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск

\* e-mail: talbeliaeva@yandex.ru

Территория Петрозаводского городского округа (ПГО), согласно ботанико-географическому районированию, относится к Северо-европейской провинции Евразийской таежной области (Растительность..., 1980). В озеленении города Петрозаводска в большом количестве используются виды-интродуценты рода *Malus*. Одним из основных поставщиков посадочного материала является Ботанический сад ПетрГУ, расположенный в границах ПГО, в плодово-ягодном отделе которого представлено свыше 70 сортов вида *Malus domestica* Mill.. Лихенологические исследования на территории ПГО и Ботанического сада ПетрГУ активно проводятся с 90-х годов XX века. Однако видовой состав лишайников деревьев рода *Malus* оставался неизученным.

Целью исследования являлось выявление особенностей видовой состав лишайников на деревьях рода *Malus* на территории ПГО. В ходе работы были исследованы яблони плодово-ягодного отдела и арборетума Ботанического сада ПетрГУ, яблони зеленых насаждений, парков и скверов г. Петрозаводска. Образцы лишайников собраны с более чем 80 деревьев на территории ПГО для дальнейшего определения в лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений ПетрГУ по принятым в лихенологии методам. Всего было проанализировано около 1000 образцов лишайников, которые хранятся в гербарии ПетрГУ (PZV).

Анализ литературных источников показал, что число видов лишайников на яблонях в зеленых насаждениях разных регионов России варьирует от 2 до 34. В результате наших исследований было обнаружено 66 видов лишайников, что составляет 17% от общего числа видов лишайников, обнаруженных на территории ПГО (Tarasova et al., 2013, 2015). Разнообразие лишайников выше на территории Сада и составляет 58 видов, в городе обнаружено 45 видов. При этом 21 вид обнаружен только на территории Сада, 8 видов — только на территории Петрозаводска, а 37 являются общими. Согласно полученным результатам, на яблонях преобладают лишайники накипной жизненной формы, составляющие более половины видовой состав (64%, 42 вида). Доля участия листоватых видов — 24% (16 видов), кустистых — 12% (8 видов). Наиболее распространенными листоватыми лишайниками на стволах и ветвях яблонь Ботанического сада являются *Hypogymnia physodes*, *Melanohalea olivacea*, *Parmelia sulcata*, *Physcia aipolia* и *Xanthoria parietina*, тогда как виды рода *Phaeophyscia* являются абсолютными доминантами древесных насаждений города, что объясняется их большей устойчивостью к загрязнению атмосферного воздуха.

Полученные данные дополнили сведения о видовом разнообразии лишайников Ботанического сада ПетрГУ (11 новых находок) и г. Петрозаводска (4 новые находки), а также могут быть использованы при проведении мониторинговых исследований.

## **Lichen diversity on trees of the genus *Malus* in Petrozavodsk Urban Okrug (Republic of Karelia)**

*Belyaeva T., Androsova V.*

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk

We studied lichens diversity on trees of genus *Malus* in Petrozavodsk Urban Okrug (PUO) on the territory of parks in Petrozavodsk and in Botanical Garden of PetrSU. In total, 66 species of lichens were found on apple trees in PUO: 58 in Botanical Garden of PetrSU, 45 in Petrozavodsk City.



## **Свойства клеточной стенки и накопление тяжелых металлов в талломе *Fucus vesiculosus* L.**

*Павлова М.А., Теребова Е.Н.*

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск  
e-mail: mariya-leta@yandex.ru, eterebova@gmail.com

Растительные сообщества приморских территорий функционируют в контактной зоне «море-суша» и выполняют функции аккумуляции и перераспределения потоков различных элементов, включая биофильные и небιοфильные металлы, азот, фосфор и углерод. Фукус пузырчатый — доминантный вид в составе приморского флористического комплекса с общим проективным покрытием до 40%, образует основную массу (до 60%) штормовых выбросов Белого моря.

В работе изучались ионообменные свойства клеточной стенки и накопление в талломе фукуса металлов. Исследование проводилось на литорали Белого моря в районе п. Кереть (губы Лебяжья и Керетская). Содержание металлов в литоральных грунтах, морской воде и талломах водорослей определяли атомно-абсорбционным методом. Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывали, как отношение содержания металла в талломе к сумме его содержанию в воде и грунте. Анализ морской воды показал, что концентрация железа (0,32 мг/л), никеля (~1,36 мг/л) и кадмия (~0,008 мг/л) превышает ПДК для морской воды, грунты литорали не загрязнены металлами, бедные по содержанию макро- и микроэлементов. Содержание железа в талломах фукуса значительно превысило оптимальные уровни содержания металла для растительных организмов (0,5 г/кг) и составляло 1,95 г/кг. Фукус накапливает свинец до 2,1 мг/кг, марганец — до 262 мг/кг. Никель накапливался в талломе до 6 мг/кг. КБП металлов талломом для марганца (1,12–2,78) и цинка (1,98) превышают единицу, что говорит об активном поглощении этих металлов талломом фукуса пузырчатого.

Депонирование металлов возможно за счет их связывания функциональными группами клеточной стенки таллома. Так, установлено, что ионообменная способность таллома фукуса высокая — содержание ионообменных групп составило 3300–3500 мкМ на г сухой массы клет. стенки. В структуру клеточных стенок таллома фукуса пузырчатого включены четыре типа ионообменных или функциональных групп. Состав ионообменных групп клеточных стенок таллома фукуса отличается от состава клеточной стенки листа и корня древесных и травянистых растений. Помимо характерных для растительной клеточной стенки групп (амино, карбоксильных и фенольных) нами выделены группы с константой ионизации  $pK_a \sim 1,5-2,0$ . Мы предполагаем, что это сульфатные группы, входящие в состав сульфатированных фуканов клеточной стенки фукуса.

Таким образом, в условиях загрязнения морской воды металлами, фукус пузырчатый депонирует значительные количества железа за счет высокой ионообменной способности клеточной стенки таллома.

## **Cell wall properties and accumulation of heavy metals in the thallus of *Fucus vesiculosus* L.**

*Pavlova M., Terebova E.*

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk

The study results showed that water and soil in the area of Keret are not contaminated with heavy metals. *Fucus* accumulates metals in acceptable concentrations; though the iron concentration is increased (1.95 g/kg). Large number of carboxyl and sulfate groups in the cell wall allows *Fucus* to accumulate metals in the thallus.

## Способность зеленой водоросли *Ulva lactuca* к очистке морской воды от дизельного топлива

Кудрявцева Е.О.<sup>1\*</sup>, Салахов Д.О.<sup>2</sup>, Воскобойников Г.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск

\* e-mail: ekato393@mail.ru

В последние годы возрос интерес к роли водорослей-макрофитов в биоремедиации прибрежных акваторий от нефтепродуктов (НП). Проведены эксперименты по изучению способности зеленой водоросли *Ulva lactuca* к очистке морской воды от дизельного топлива (ДТ), а также его поглощения и трансформации в течение 5 и 10 суток. Исходная морская вода содержала 620 мкг/л НП (около 12 ПДК). В течение эксперимента с ДТ 20000 мкг/л (400 ПДК) без добавления ульвы наблюдался процесс поглощения введенных углеводородов (УВ) микроорганизмами, присутствующими в воде. На 5-е сутки опыта концентрация НП в воде снизилась до 12000 мкг/л (240 ПДК), т.е. на 40%. В случае добавления в воду образца ульвы валовое содержание НП в воде на 5-е сутки снизилось уже до 2800 мкг/л (на 86%), а на 10-е сутки немного увеличилось до 4200 мкг/л. Некоторое увеличение концентрации НП в воде на 10-е сутки говорит об обратном процессе высвобождения поглощенных УВ в воду. Подобный результат фиксировался и в более ранних наших исследованиях со всеми видами водорослей. Значения показателя, отражающего степень трансформации углеводородов ( $\sum \text{н-алканов} / \sum \text{НП}$ ), оставались высокими ( $> 0,2$ ) на протяжении всего эксперимента, то есть процессы поглощения/высвобождения такого количества УВ (400 ПДК) проходят без существенной их трансформации. При добавлении ДТ начинается процесс поглощения нефтяных УВ поверхностью водоросли. В опыте с добавлением небольшого количества ДТ (200 ПДК) содержание НП в тканях ульвы на 5-е и 10-е сутки было зарегистрировано на уровне 600 мкг/г. Маркерное соотношение  $\sum \text{н-алканов} / \sum \text{НП}$  в течение эксперимента находилось на уровне 0,2. Небольшое снижение этого показателя до 0,18 на 10-е сутки свидетельствует о начале трансформации химической структуры углеводородов. В образце ульвы в эксперименте, где ДТ было добавлено в количестве 400 ПДК, этот показатель на 5-е и на 10-е сутки зарегистрирован на уровне 0,25 и 0,28 соответственно, что указывает на активный процесс поглощения углеводородов, который к 10 суткам еще не завершился. При добавлении 400 ПДК максимум содержания НП в водоросли был зарегистрирован на 10-е сутки эксперимента и составил 18000 мкг/г. Процессы поглощения и трансформации НП характерны для ульвы также, как и для всех ранее изученных видов водорослей-макрофитов.

*Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 22-17-00243.*

## The ability of the green algae *Ulva lactuca* to purify seawater from diesel fuel

Kudryavtseva E.<sup>1</sup>, Salahov D.<sup>2</sup>, Voskoboynikov G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Komarov botanical institute RAS, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk

The green alga *Ulva lactuca* absorbs and converts diesel fuel from water. In the presence of *Ulva*, the hydrocarbons transformation degree in water was 0.2 at 200 MPC and 0.28 at 400 MPC. Petrochemicals in the tissues contented 600  $\mu\text{g/g}$  at 200 MPC, and 18,000  $\mu\text{g/g}$  at 400 MPC.

## Место под Солнцем: адаптации верхнелиторальной водоросли *Pelvetia canaliculata*

### к продолжительной осушке в условиях квадратурного приливного цикла

Исламова Р.Т.<sup>1\*</sup>, Яньшин Н.А.<sup>1</sup>, Замяткина Е.Б.<sup>1</sup>, Тараховская Е.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

\* e-mail: renata.tag.isl@gmail.com

В течение суток приливная волна дважды приходит и уходит. Теоретически, обитатели литоральной зоны должны два раза в сутки погружаться под воду и затем дважды оставаться на осушке, проводя в водной и воздушной средах обитания примерно равное время. Однако, на практике это правило соблюдается только для средней литорали, поскольку амплитуда приливов в течение лунного месяца изменяется в зависимости от взаимного положения небесных тел от максимальной в полнолуние/новолуние (сизигий) до минимальной, когда Луна находится в четверти (квадратура). Период квадратурных приливных циклов может стать нелегким испытанием для жителей верхней литорали, таких как бурая водоросль *Pelvetia canaliculata*. В это время вода не поднимается достаточно высоко, и пельвеция в течение 3–4 суток находится на осушке, где может подвергаться воздействию пресной воды, резких колебаний температуры и т.п. Наиболее сложная ситуация складывается летом в жаркую погоду, когда Солнце нагревает скалы, на которых растет пельвеция, вызывая практически полное иссушение тканей водоросли.

Цель нашей работы заключалась в исследовании влияния продолжительной осушки и последующей регидратации на биохимический состав *P. canaliculata*.

Сбор материала проводили на побережье Белого моря. Талломы пельвеции собирали на отливе в период, предшествующий наступлению квадратурных приливных циклов, и моделировали такой цикл, выдерживая водоросли на осушке в течение трех суток. Далее, водоросли вновь заливали водой. Сразу после осушки и на разных этапах регидратации оценивали степень обводненности талломов, кислотность тканей, содержание пигментов, фенольных соединений и биохимических маркеров стресса.

На осушке пельвеция теряет более 80% воды, в ее клетках снижается содержание фотосинтетических пигментов и накапливается  $H_2O_2$ . Также в талломах увеличивается содержание внутриклеточных фенольных метаболитов, но падает доля фенолов клеточной стенки. За первый час регидратации обводненность тканей полностью восстанавливается, и содержание  $H_2O_2$  уменьшается, достигая стабильно низких значений. При этом в клетках активируются процессы перекисного окисления липидов, о чем свидетельствует рост концентрации тиобарбитурат-реактивных соединений. Также, регидратация сопровождается снижением кислотности тканей пельвеции и увеличением содержания пигментов. Полученные результаты говорят о том, что, в отличие от 7–10-часовых отливов в периоды сизигийных и фазовых (промежуточных) циклов, трехсуточная осушка во время квадратурных приливов является для пельвеции физиологическим стрессом. Однако, даже непродолжительного погружения в воду достаточно для того, чтобы водоросль восстановила базовые метаболические процессы.

Проект поддержан РФ (грант № 22-24-20039) и СПбНФ (Соглашение № 35/2022).

## A place in the sun: adaptations of the high-intertidal alga *Pelvetia canaliculata* to the prolonged drying during the neap tides

Islamova R.<sup>1</sup>, Yanshin N.<sup>1</sup>, Zamyatkina E.<sup>1</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Vavilov Institute of General Genetics RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

High-intertidal brown alga *Pelvetia canaliculata* showed remarkable resistance to desiccation. After losing up to 80% of water and accumulating large amount of  $H_2O_2$  during the three-day long neap tide period, it successfully restores key metabolic processes within 1–3 hours after re-immersion.

## **Изменение профилей низкомолекулярных метаболитов красных водорослей *Phycodrys rubens* (Ceramiales) и *Coccotylus brodiaei* (Gigartinales) в зависимости от солености воды**

Яньшин Н.А.<sup>1\*</sup>, Замяткина Е.Б.<sup>1</sup>, Исламова Р.Т.<sup>1</sup>, Тараховская Е.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

\* e-mail: kolya1256@gmail.com

В силу глобальных изменений климата, в частности, таяния льдов в Арктике, Мировой океан подвергается постепенным изменениям, которые касаются таких гидрохимических параметров, как соленость, температура и рН. Изменение таких важных параметров среды, несомненно, повлечет за собой изменения в составе биоценозов морских макрофитов. Учитывая характерный для Белого моря выраженный приливный цикл, а также сильное варьирование солености в прибрежных районах, можно предположить, что беломорские макроводоросли должны обладать широким адаптивным потенциалом для существования в изменяющихся условиях. Целью данной работы явилось сравнение профилей низкомолекулярных метаболитов типичных представителей красных водорослей пор. Ceramiales и Gigartinales после экспозиции в воде с нормальной, пониженной и повышенной соленостью.

Объектами исследования служили схожие по структуре таллома, экологическим предпочтениям и общему биохимическому составу виды красных водорослей *Phycodrys rubens* (Ceramiales) и *Coccotylus brodiaei* (Gigartinales). Водоросли были собраны в сублитеральной зоне Белого моря. Талломы в течение 7 суток выдерживали в воде с нормальной (25‰), пониженной (12,5‰) и повышенной (37,5‰) соленостью, после чего исследовали профили их низкомолекулярных метаболитов с помощью ГХ-МС-анализа.

Результаты метаболомного профайлинга показывают некоторое сходство механизмов адаптации обоих объектов к повышению солености воды. Так, обе водоросли в этих условиях накапливают в клетках различные сахароспирты (маннит, арабитол и др.). По сравнению с фикодрисом, адаптация гигартиновой водоросли *C. brodiaei* к увеличению солености происходит более эффективно. Возможно, это связано с более широким спектром совместимых растворенных веществ, присутствующих в ее талломах в значительном количестве (напр., трегалоза, маннит, флоридозид, пролин). Эти вещества широко известны как осмопротекторы, защищающие клетки от гиперосмотического стресса и поддерживающие осмотический гомеостаз. Реакция водорослей на понижение солености воды в большей степени видоспецифична. По нашим данным, более чувствительным к опреснению видом оказался *C. brodiaei*: при понижении солености воды в его клетках возрастает содержание моносахаридов и некоторых аминокислот, что может говорить о частичном разрушении полимеров, таких как структурные или запасающие полисахариды клеток (в частности, полисахариды клеточных стенок). В клетках *P. rubens* после экспозиции в опресненной воде накапливаются органические кислоты, что может свидетельствовать об интенсификации работы цикла Кребса и усилении процессов клеточного дыхания, которые поддерживают энергообмен водоросли даже при снижении эффективности работы фотоассимиляционного аппарата.

Проект выполняется при поддержке РНФ (грант № 22-24-20039) и СПбНФ (Соглашение № 35/2022).

## **Changes in the profiles of low molecular weight metabolites of the red algae *Phycodrys rubens* (Ceramiales) and *Coccotylus brodiaei* (Gigartinales) depending on water salinity**

Yanshin N.<sup>1</sup>, Zamytkina E.<sup>1</sup>, Islamova R.<sup>1</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of physiology and biochemistry of plants, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Vavilov Institute of General Genetics RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

We studied the profiles of low molecular weight metabolites of typical representatives of ceramialelean and gigartinelean algae (Rhodophyta) after exposure to low, normal and increased salinity. Results indicate that *Coccotylus brodiaei* adapts better to high salinity, but is less tolerant to desalination compared to *Phycodrys rubens*.

## Особенности биохимического состава морской красной водоросли *Furcellaria lumbricalis*

Замяткина Е.Б.<sup>1\*</sup>, Яньшин Н.А.<sup>1</sup>, Исламова Р.Т.<sup>1</sup>, Тараховская Е.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

\* e-mail: lizatekna@mail.ru

Уникальный биохимический состав некоторых видов морских красных водорослей делает их перспективными источниками промышленно ценных веществ (агар, каррагинаны, бромфенолы и т.д.). Одним из таких видов является *Furcellaria lumbricalis* — представитель порядка Gigartinales, типичный для сублиторали северных морей. Это многолетняя водоросль, таллом которой представлен дихотомически ветвящимися цилиндрическими тяжами длиной 7–30 см. Практический интерес представляют структурные полисахариды клеточных стенок фуцеллярии — каррагинаны, широко применяемые в пищевой промышленности. Несмотря на успешный опыт коммерческого использования, физиолого-биохимические особенности этой водоросли остаются малоизученными. Целью нашей работы стало исследование биохимических характеристик *F. lumbricalis*.

Объект исследования был собран в сублиторальной зоне Белого моря (Керетский архипелаг). Были проанализированы следующие характеристики фуцеллярии: общее содержание белка, фенольных соединений, пигментов и углеводов, а также профиль низкомолекулярных метаболитов. Также была исследована специфика биохимического состава разных зон таллома водоросли: апикальной, центральной и базальной.

Результаты показали очень высокое содержание фенольных соединений в талломе водоросли (до 2% сух. массы). Это резко выделяет фуцеллярию среди остальных беломорских гигартиновых, у которых содержание фенолов, в среднем, в 4 раза ниже. По данным ГХ-МС, фенолы *F. lumbricalis* представлены фенилпропаноидными кислотами (3-гидроксикоричная, п-кумаровая и кофейная кислоты), гидроксibenзойными кислотами (салициловая, 3-гидроксibenзойная) и их производными, а также производными пирокатехина (катехоллактат, катехолспируват). По-видимому, именно эта особенность биохимического состава определяет высокую антиоксидантную активность экстрактов фуцеллярии (Zubia et al., 2009). Кроме того, в талломе *F. lumbricalis* было выявлено высокое содержание углеводов (до 57%), что более чем на треть превышает таковое у других беломорских представителей порядка Gigartinales (Yanshin et al., 2021). Можно предположить, что столь высокий показатель обусловлен присутствием большого количества каррагинанов. Интересным оказалось и неравномерное распределение белка и фенольных соединений по таллому водоросли: содержание общего белка снижалось от основания таллома к апикальной зоне, в то время как для фенольных соединений была характерна обратная тенденция. Небольшие различия между зонами таллома были выявлены также и по общему содержанию углеводов. Возможно, это связано с апикальным характером роста таллома фуцеллярии (Bird et al., 1991).

Проект выполняется при поддержке РНФ (грант № 22-24-20039) и СПбНФ (Соглашение № 35/2022).

## Features of the biochemical composition of the marine red alga *Furcellaria lumbricalis*

Zamyatkina E.<sup>1</sup>, Yanshin N.<sup>1</sup>, Islamova R.<sup>1</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Vavilov Institute of General Genetics of RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

We investigated the biochemical composition of the red gigartinelean carrageenophyte *Furcellaria lumbricalis*. It was shown that among other Gigartinales of the White Sea, *F. lumbricalis* has the highest total phenolic and carbohydrate content. Moreover, an uneven intra-thallus distribution of some key metabolites was demonstrated in this alga.

## Оценка биомассы нитчатых водорослей в озере Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив, Белое море), частично изолированном от Белого моря

Буряк А.Ю.<sup>1\*</sup>, Абрамова М.С.<sup>1</sup>, Баскаев А.А.<sup>1</sup>, Волков П.А.<sup>1</sup>, Ермохин Д.А.<sup>1</sup>, Илюшин Е.А.<sup>1</sup>, Казакова М.А.<sup>1</sup>, Карнаухова В.К.<sup>1</sup>, Кравцов И.Д.<sup>1</sup>, Кузьмин Н.А.<sup>1</sup>, Лапина К.К.<sup>1</sup>, Матерова Т.А.<sup>1</sup>, Нехорошева Ю.Е.<sup>1</sup>, Шипилова П.А.<sup>1</sup>, Ястребов И.А.<sup>1</sup>, Григорян И.В.<sup>1</sup>, Пархаева А.П.<sup>1</sup>, Краснова Е.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва

\* e-mail: buriak.ai20@physics.msu.ru

В результате послеледникового поднятия на побережье Белого моря образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от моря. У одного из них, озера Кисло-Сладкое, расположенного в 1,5 км от Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова, в гидрологическом цикле чередуются периоды устойчивой стратификации (меромиксии) с эпизодами полного перемешивания в результате зимних забросов воды. В 2023 году после зимней промывки в оз. Кисло-Сладкое нарушилась стратификация, сохранявшаяся несколько лет, что привело к перемешиванию вод придонной части с вышележащей водной толщей. Из-за избытка биогенных веществ в озере произошло цветение нитчатых водорослей *Cladophora*, образовались обширные маты из живых и отмирающих нитчаток. Данная работа — результат пилотного студенческого проекта по оценке биомассы нитчатых водорослей, всплывших на поверхность водоема, плававших в толще воды и лежавших на дне, выполненного в ходе полевой практики на Беломорская биологической станции МГУ студентов кафедры биофизики физического факультета МГУ.

Площадь, занятую плотными скоплениями плавающей нитчатки, определяли путем картирования границ с использованием GPS-трекера: на воде — с надувной лодки, у берега — пешком. Далее с помощью программы Google Earth Pro по полученным координатам была вычислена площадь озера и его площадь, покрытая нитчаткой.

Гидрологические исследования были выполнены одновременно с отбором проб. Они включали измерение температуры, солености и окислительно-восстановительного потенциала мультипараметрическим зондом YSI Pro, измерение концентрации растворенного в воде кислорода оптическим зондом YSI Pro ODO, а также измерение рН, которое проводилось с помощью портативного определителя качества воды WaterLiner.

В результате измерений в августе 2023 г. биомасса скоплений нитчатых водорослей с доминированием *Cladophora* составляла более 7 тонн. В пересчете на единицу объема воды — 355 г/м<sup>3</sup>, и на единицу площади поверхности озера — 0,4 кг/м<sup>2</sup>. Основные скопления нитчатки сконцентрированы на поверхности водоема и на мелководье до глубины 1,5 м; донные скопления, по всей вероятности, обеспечивают выработку кислорода, который накапливается в эпилимнионе до концентраций, более чем в 2 раза превышающих насыщение.

## Assessment of the biomass of filamentous algae in Lake Kislo-Sladkoe (Kandalaksha Bay, White Sea), partially isolated from the White Sea

Buryak A.<sup>1</sup>, Abramova M.<sup>1</sup>, Baskaev A.<sup>1</sup>, Volkov P.<sup>1</sup>, Ermokhin D.<sup>1</sup>, Ilyushin E.<sup>1</sup>, Kazakova M.<sup>1</sup>, Karnaukhov V.<sup>1</sup>, Kravtsov I.<sup>1</sup>, Kuzmin N.<sup>1</sup>, Lapshina K.<sup>1</sup>, Materova T.<sup>1</sup>, Nekhorosheva Yu.<sup>1</sup>, Shipilova P.<sup>1</sup>, Yastrebov I.<sup>1</sup>, Grigoryan I.<sup>1</sup>, Parkhaeva A.<sup>1</sup>, Krasnova E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow

There are many bodies of water near the White Sea coast. We studied one of them, Lake Kislo-Sladkoe. Its hydrological cycle alternates between periods of stable stratification and episodes of complete mixing as a result of winter water ingress. In 2023, stratification was disrupted and *Cladophora* bloomed in the lake.

## Морфология листа *Lathyrus japonicus* на Северо-западе России

Родин А.Ю. \*, Стародубцева А.А.

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

\* e-mail: tema.rudik.17@mail.ru

Адаптация растений к экологическим условиям тесно связана с перестройкой фотосинтетического аппарата, она может проявляться на морфологическом, анатомическом и физиологическом уровнях. Условия произрастания могут оказывать влияние и на размеры листа.

Целью исследования являлось изучить влияние условий произрастания на морфологию листа *Lathyrus japonicus*. В настоящее время внутри вида выделяют две разновидности *Lathyrus japonicus* var. *japonicus* и *Lathyrus japonicus* var. *maritimus*. Разновидности отличаются опушением нижней стороны листа. Растительный материал был собран в 2022–2023 годах на побережьях Баренцева, Балтийского и Белого морей, и Ладожского озера. Во всех точках сбора чина произрастала на песчаных участках побережья (в разреженных сообществах с *Leymus arenarius*). Чина является факультативным галофитом, соленость воды в исследованных местах произрастания варьирует от 0,01‰ в Ладожском озере до 33‰ в Баренцевом море. Расстояние от южной до северной точки исследования около 1050 км. Собранные образцы были гербаризованы, затем при помощи бинокуляра по наличию опушения определяли разновидность. Измеряли длину, ширину и площадь листочков из первой пары парнопериисто-сложного листа. Полученные данные обрабатывались в программе R.

Было установлено, что различия между опушенными и неопушенными образцами, которые встречаются на побережье Балтийского моря и Ладожского озера не значительны, две разновидности чины японской (var. *japonicus* и var. *maritimus*) не отличаются по длине и ширине листа. В остальных точках найдена только *Lathyrus japonicus* var. *japonicus*. Растения с наименьшей длиной 29,3±4,0 мм и шириной листочков 13,4±3,0 мм произрастали на побережье Баренцева моря. Растения с наибольшей длиной листочка 39,8±3,5 мм и шириной 20,4±3,0 мм произрастали на побережье Ладожского озера. В среднем длина листочка составила 34,6±6,0 мм, ширина 16,4±4,0 мм, а соотношение длины и ширины составило от 2 до 2,5. По длине листа не отличались растения Белого и Балтийского морей, между остальными местами исследования обнаружены достоверные различия. С увеличением ширины листа увеличивается его длина. Наблюдается корреляция длины и ширины листа с широтой произрастания, чем севернее, тем меньше размеры листа. Наблюдается корреляция длины и ширины листа и солености водоема, чем выше содержание соли в воде, тем меньше длина и ширина листа.

В результате исследования морфологии *Lathyrus japonicus* установлено, что две разновидности вида значимо не отличаются по размерам листочков парнопериисто-сложного листа. Проанализировано влияние широты места произрастания и солености воды на размеры листа *Lathyrus japonicus*.

## Leaf morphology of *Lathyrus japonicus* in North-West Russia

Rodin A., Starodubtseva A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

The size of the *Lathyrus japonicus* leaf from the coast of the Barents, White and Baltic Seas and Lake Ladoga has been studied. The average length of the leaflets was 34.6±6.0 mm, width 16.4±4.0 mm. *Lathyrus japonicus* var. *japonicus* and *Lathyrus japonicus* var. *maritimus* do not differ in leaf size.

**The mystery of the staurozoan *Haliclystus monstrosus* (Naumov, 1961)**

Domracheva M.<sup>1\*</sup>, Salova I.<sup>1</sup>, Nefedova E.<sup>2</sup>, Khabibulina V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

\* e-mail: m.domracheva2000@yandex.ru

*Haliclystus* James-Clark, 1863 is the most abundant and problematic genus within the stalked jellyfish (Staurozoa). This genus consists of 13 morphologically poor-distinguished species, one of which is the enigmatic staurozoan *Haliclystus monstrosus* (Naumov, 1961). This species was originally described by Naumov as *Octomanus monstrosus* Naumov, 1961. Later, Stepanyants and Sheiko assigned this jellyfish to the genus *Haliclystus* and drew attention to the morphological similarities of *H. monstrosus* with previously described *Haliclystus salpinx* James-Clark, 1963. Both species are characterized by the peculiar organization of the rhopaloids, the attachment organs which are “strongly modified and turned into a grasping “paw”. In the rhopaloid of *H. salpinx* primary tentacle remnant bears cnidocytes, which are absent in the rhopaloid of *H. monstrosus*. It is the only distinguishing feature with the highly questionable validity, since during the growth of the staurozoan, the rudiment of the primary tentacle can be reduced. Therefore, is it possible that the species *H. salpinx* and *H. monstrosus* should be merged?

Another mystery is the distribution of these species. *H. salpinx* was first described in the North Atlantic and later, it was discovered in the North Pacific, from the Vancouver Island to the Russian Far East. At the same time, the only known location for *H. monstrosus* is the Shikotan Island, the Northern Kuriles. Can these data indicate that *H. monstrosus* and *H. salpinx* represent a complex of morphologically similar species?

To begin solving these mysteries, we analyzed samples of both *H. monstrosus* and *H. salpinx* deposited in the collection of the Zoological Institute RAS. We compared the external morphology and some features of the internal organization using histological methods. We also provide photographs of histological sections of *H. monstrosus* made by Naumov. Additionally, we made measurements of nematocysts isolated from secondary tentacles of both species and found size differences in izorhizas and nematocysts. Nevertheless, the identified differences do not allow to determine two distinct species. We also use the data from the website iNaturalist to supplement known distribution of these staurozoans.

Thus, our work cannot yet answer all the questions raised, but it can become the basis for further clarification of the taxonomy of the puzzling genus *Haliclystus*.

*We thank the ZIN RAS collection, and in particular O.V. Bazhenova, as well as M.A. Kulakova and L. Poliushkevich. The research was performed using equipment of the “Centre for Culture Collection of Microorganisms” of the Research Park of Saint Petersburg State University.*



## ***Admete cf. viridula* (Gastropoda, Neogastropoda, Cancellariidae): загадочные моллюски без радулы**

Агунович К.К.<sup>1\*</sup>, Неретина Т.В.<sup>1,2</sup>, Ежова М.А.<sup>1,2</sup>, Ворцетнева Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

<sup>2</sup> Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

\* e-mail: [katya.agunovich@yandex.ru](mailto:katya.agunovich@yandex.ru)

Известно, что при переходе к узкоспециализированным типам пищедобывания глоточное вооружение брюхоногих моллюсков может претерпевать существенные изменения, вплоть до потери радулы. Представители отряда Neogastropoda имеют специальный орган — хобот, позволяющий добраться до труднодоступных пищевых объектов и начать процесс переваривания дистантно. Глоточное вооружение неогастропод, как правило, представлено радулой. Рабочий край радулы располагается на конце хобота. В этой группе может происходить редукция радулы, как в базальном семействе Cancellariidae. Для представителей этого семейства характерна хитиновая челюсть. Если же радула имеется, то она относится к особому нематоглосному типу. В Белом море обитают представители этого семейства — *Admete cf. viridula*, для которых отмечено отсутствие радулы, наличие челюсти, но совсем не изучена биология питания.

Цель данной работы — изучение тонкой морфологии хобота адмет и наблюдение за их пищевым поведением, молекулярный анализ взрослых особей и личинок.

Взрослые особи и личинки были выловлены тралом Сигеби и дночерпателем в трех местах Кандалакшского залива. Для изучения тонкой морфологии был использован метод 3D реконструкции по гистологическим срезам, проведена работа на TEM, SEM, конфокальном микроскопе и томографе. На ББС МГУ проведено секвенирование по 5 генам (COI, 16SMoll, H3, 18S, 28S), с дальнейшим построением деревьев в программах MEGA и MrBayes. В условиях холодной комнаты при температуре воды 2 °C проводилось наблюдение за моллюсками в аквариумах.

По итогам прижизненных наблюдений было описано поведение моллюсков и движение их хобота в илистом грунте, на основе чего были сделаны выводы об особенностях их содержания. Молекулярный анализ показал, что в Кандалакшском заливе обитает три или даже четыре криптических вида адмет, не различимых на данный момент по морфологическим признакам. По промежуточным результатам о морфологии стало известно, что их длинный и тонкий хобот содержит много одноклеточных желез, может превышать длину раковины в 1,5–2 раза и сильно сокращаться за счет тонких продольных мышечных волокон стенки хобота и более мощного ретрактора. Буккальная масса смещена к кончику хобота вместе с протоками длинных парных слюнных желез. Челюсть огибает кишку и подстиляется эпителием, который плавно переходит в кишечный эпителий. Наблюдение за личинками показало, что чем старше капсула, тем меньше личинок в ней. Возможно, у них развита адельфофагия. По дополненным результатам будут сделаны предположения о типе питания на основе изученной морфологии.

## ***Admete cf. viridula* (Gastropoda, Neogastropoda, Cancellariidae): mysterious mollusks without a radula**

Агунович К.<sup>1</sup>, Неретина Т.<sup>1,2</sup>, Ежова М.<sup>1,2</sup>, Ворцетнева Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

<sup>2</sup> Pertsov White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University

We observed the feeding behavior and studied the fine morphology of the specialized organ of molluscs *Admete cf. viridula*, for which the absence of radula and the presence of a jaw are known. Molecular analysis of adults and larvae were also carried out to separate the species complex.

## Разнообразие симбиотических взаимодействий между беломорскими мшанками (Bryozoa: Cheilostomata) и прокариотами

Богданов Е.А. \*, Вишняков А.Э., Островский А.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: OdFael@gmail.com

Симбиотические ассоциации с разнообразными микроорганизмами широко распространены среди мшанок (тип Bryozoa). Живущие во внутренних органах зооидов (Lutaud, 1965, 1969, 1986; Zimmer and Wollacott, 1981; Karagodina et al., 2018), а также на поверхности их личинок (Wollacott, 1981; Anderson and Haygood, 2007), бактерии могут становиться для мшанок источником защитных веществ (Pettit, 1982; Jeong, 2002). Для некоторых видов мшанок также описана генетическая (Miller et al., 2016) и метаболическая (Mathew et al., 2018) коинтеграция с симбионтом. Тем не менее, проведенные нами исследования свидетельствуют о наличии более широкого спектра симбиотических взаимодействий между микроорганизмами и данным типом колониальных беспозвоночных.

Ультраструктурные исследования ряда беломорских видов показали наличие нескольких вариантов облигатных симбиотических взаимодействий между мшанками и прокариотическими организмами. Наиболее распространенный вариант — формирование фуникулярных тел, многоклеточных органов неясного происхождения, которые встречаются у *Aquiloniella scabra*, *Bugulopsis peachii* (Candidae) и *Dendrobeatia fruticosa* (Bugulidae), и выполняют функцию инкубаторов для симбиотических бактерий. Судя по ультраструктуре клеток, образующих фуникулярные тела, у этих видов существуют трофические взаимоотношения с симбионтами, получающими от хозяина дополнительное питание. Сходные органы, обнаруженные в колониях мшанки *Stomacrustula cruenta* (Fatkullinidae), также содержат скопления симбиотических прокариот. В клетках этих тел, имеются многочисленные крупные гранулы, которые могут быть результатом деятельности бактерий и обеспечивать симбиотрофное питание хозяина.

Кроме фуникулярных тел нами обнаружены однотипные скопления морфологически идентичных прокариот в вестибулюмах зооидов *Aquiloniella scabra*, *Dendrobeatia fruticosa* и *Arctonula arctica* (Umbonulidae).

Большой интерес представляют сходные сезонные морфологические изменения фуникулярных тел, которые отмечены в весенне-осенний период у перечисленных выше трех видов кандид и бугулид. В ходе своего развития фуникулярные тела увеличиваются в размерах и затем деградируют, при этом идет соответствующее этому увеличению числа бактерий с последующим их разрушением. Хотя общие тенденции развития и деградации популяций бактерий и содержащих их органов у разных мшанок сходны, каждый вид обладает своими особенностями в реализации данных процессов. У *S. cruenta* признаков сезонной редукции бактериальных тел пока не обнаружено.

Перечисленное разнообразие вариантов симбиотических взаимоотношений демонстрирует наличие у разных видов мшанок наличие уникальных адаптаций, в виде формирования эволюционно новых для данного типа животных структур, заселения разных стадий жизненного цикла хозяина, а также временной и физиологической регуляции размножения симбионтов в хозяине.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФ №23-14-00351.*

## Diversity of symbiotic interactions between bryozoans (Cheilostomata) and prokaryotes in the White Sea

Bogdanov E., Vishnyakov A., Ostrovsky A.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

Symbiotic associations with prokaryotes are widespread among Bryozoan (Lutaud, 1965, 1969, 1986; Zimmer and Wollacott, 1981; Karagodina et al., 2018). Our research describes different types of symbiotic associations between bryozoans and prokaryotes in the White Sea, reflecting some variation in the specific adaptive strategies.

## Armored bear: a new species of *Testechiniscus* (Tardigrada) from Novaya Zemlya

Tsvetkova A. \*, Tumanov D.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: st072110@student.spbu.ru

Tardigrada is a group of microscopic segmented animals that are known for their ability to withstand extreme conditions in cryptobiotic state. They inhabit aquatic biotopes from abyssal depths of the ocean to mountain tops. The phylum currently comprises almost 1500 species (Degma et al., 2023). It is divided into two classes: Heterotardigrada and Eutardigrada. While Eutardigrada are characterized by their relatively simplified morphology and worm-like body shape, Heterotardigrada possess long appendages, with cirrus A being the defining character of the class (Kristensen, 1987).

*Testechiniscus*, first established by Kristensen, 1987, is a genus belonging to the speciose, terrestrial family Echiniscidae. All species comprising this group possess a heavily sclerotised dorsum, bearing rows of segmental and intersegmental plates. *Testechiniscus* was initially isolated as a *spitsbergensis*-group within the large genus *Echiniscus* C.A.S. Schultze, 1840, but then given the generic status on the basis of black crystalline eyes (*Echiniscus* species possess red lipid eyes) and sclerotised ventral body surface (with eight rows of cuticular plates). However, later molecular evidence caused several species to be excluded from the genus and genetic information is still lacking for a number of other species. Further investigation is needed for reliably establishing the composition of *Testechiniscus*, as well as for assessing the morphological variability within individual species.

During our investigation of samples from Novaya Zemlya we found a new species of *Testechiniscus*. Our study involves both classical taxonomic methods, which include morphological and morphometric analyses conducted with the use of light and scanning electron microscopy, and genetic analysis based on four molecular markers (three nuclear: 18S rRNA, 28S rRNA, ITS1, and one mitochondrial: COI). The new species is most similar to *T. spitsbergensis* in body appendages configuration and the structure of dorsal cuticular plates, but its ventral surface is much closer morphologically to *T. laterculus*, which possesses several rows of unpaired ventral plates (*T. spitsbergensis* only bears one).

In addition to the plates on the outer surface of the legs I-III the new species possesses a set of inner leg plates. This character was mentioned once by Kristensen (1987) as a feature of the type species, *T. spitsbergensis*, but never described in detail. Moreover, the redescription made by Gasiorek et. al in 2018 did not contain this character at all. Our findings allow us to describe these inner leg plates for the first time, thereby introducing a new character in the nomenclature of Echiniscidae body surface sclerotisation.

*The study was financially supported by the Russian Science Foundation, grant No 23-24-00201, <https://rscf.ru/project/23-24-00201/>.*

## Новые данные о разнообразии центрохелидных солнечников видового комплекса *Acanthocystis* «*turfacea*» (Haptista: Centroplasthelida)

Полузеров С.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
e-mail: poluzerov24@gmail.com

Центрохелидные солнечники (Haptista, Centroplasthelida) — группа морских и пресноводных амебодных протистов, для которых характерно наличие особого центра организации микротрубочек и тонких, неветвящихся псевдоподий — аксоподий, несущих экструсомы. Для подавляющего большинства центрохелид характерно наличие внешних скелетных элементов: кремниевых чешуек и/или органических спикул. Структура кремниевых чешуек считается видоспецифичной. Центрохелиды в основном ассоциированы с верхним слоем придонного осадка пресных и минерализованных водоемов.

*Acanthocystis* — род центрохелидных солнечников из группы Panacanthocystida. Для солнечников этого рода характерно наличие пластинчатых чешуек (plate-scales), расположенных тангентально по отношению к клетке, и радиальных кремниевых чешуек (spine-scales). В настоящее время описано 46 видов этого рода, в основном пресноводных.

Типовым видом рода является *Acanthocystis turfacea*: сравнительно крупный (50–150 мкм в диаметре) пресноводный солнечник, несущий радиальные чешуйки двух типов с характерной бифуркацией на дистальном конце. Кроме того, в первоописании вида было отмечено наличие симбиотических хлорелл в цитоплазме клетки. Большое количество находок свидетельствует о широком географическом распространении. Однако многие обнаруженные клетки не соответствуют первому описанию. Описаны крупные и мелкие формы без симбиотической водоросли. Помимо пресноводных были обнаружены морские формы. Несмотря на широкий диапазон размеров, широкую соленостную толерантность и возможное отсутствие симбионтов, не было предпринято попыток разделить этот вид на несколько новых или же попытаться исследовать полиморфность *A. turfacea*, вызванную разными факторами. Идентификация была построена только на морфологических признаках радиальных чешуек.

Нами были найдены представители *A. turfacea* в пробах из озера Байкал, водоемов Ленинградской области и севера Карелии, а также из Японского и Белого морей. Получены клональные культуры двух пресноводных штаммов и одного морского. Одна из пресноводных культур содержит хлорелл, в то время как вторая симбионтов лишена и отличается более крупными размерами. У единственной клональной культуры морских солнечников симбионты также отсутствуют. Также недавно были изолированы две морские накопительные культуры. Таким образом, были найдены различные формы *A. turfacea*, отличающиеся по трем параметрам: наличию симбиотических хлорелл, солености среды обитания и размерам. Проведенный анализ показывает, что мы имеем дело как минимум с тремя сильно различающимися разновидностями *A. turfacea*, предположительно являющимися разными видами, объединенными в один комплекс.

## New data on the diversity of centrohelid heliozoa of the species complex *Acanthocystis* “*turfacea*” (Haptista: Centroplasthelida)

Poluzerov S.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

*Acanthocystis turfacea* is a species of the centrohelid heliozoa (Haptista: Centroplasthelida), which is characterized by the presence of radial scales with bifurcations on the distal end. We found several forms of *A. turfacea*, which vary in size, presence of chlorella-symbionts and salinity tolerance. We suggested that these forms could be assigned to different species.

## Морфология цист *Dinophilus vorticoides*

Матвеева Е.П.<sup>1\*</sup>, Фофанова Е.Г.<sup>2</sup>, Воронежская Е.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва

\* e-mail: matveich\_eva@hotmail.com

Аннелиды *Dinophilus vorticoides* при понижении температуры формируют цисты. Процесс инцистирования и его зависимость от температуры у *Dinophilus vorticoides* были описаны еще в середине XX века (Jägersten, 1953). Так, было показано, что инцистирование в жизненном цикле происходит один раз, сопровождается замедлением метаболизма, постепенной деградацией внутренних структур и образованием плотной двухслойной оболочки. Принципы выделения оболочки цисты сходны с формированием оболочки кладки самками *Dinophilus vorticoides*. Все эти данные представлены в основном в старых работах, зачастую не подкрепленных фотографиями и схемами. Особенности морфологии цист, а также процесс выхода из цист до сих пор не исследованы.

Целью нашей работы является анализ морфологии цист 1–2-недельной давности, а конкретно организации их ресничной, нервной, серотонинергической и FMRFамидергической-системы и сравнение полученных данных с морфологией этих систем у активных взрослых особей.

В лабораторной культуре привезенных с Белого моря *Dinophilus vorticoides* были получены цисты, сбор цист проводился раз в 1–2 недели. Перед мечением антителами производилась обработка цист ультразвуковым гомогенизатором, чтобы обеспечить проникновение антител через оболочку. Использовались антитела к альфа-тубулину, серотонину, FMRF-пептиду, для мечения границ клеток использовался фаллоидин, ядер — DAPI. Морфология мышечной, нервной и ресничной системы цист проанализирована с помощью конфокальной микроскопии.

У цист 1–2-недельной давности наблюдаются два вида оболочек: после обработки фосфатно-солевым буфером с Triton-X100 часть цист теряли оранжевую окраску, другая часть сохраняла плотную кожистую оранжевую оболочку, которой не было у первых, что соответствует литературным данным. Цисты с более плотной оболочкой намного хуже красятся антителами. При инцистировании наблюдалось уменьшение длины и количества ресничек в клетках ресничных шнуров, эпителиальные железы при этом сохранялись. В строении мышечной и нервной, систем не наблюдалось существенных отличий в сравнении с нормальной морфологией взрослых особей; это говорит о том, что на ранних этапах инцистирования эти системы не деградируют.

Таким образом цисты, образованные за 1–2 недели постепенно выделяют две оболочки, инцистированные особи постепенно утрачивают реснички, однако на данном этапе инцистирования еще не происходит деградации мышечной, серотонинергической и FMRF-амидергической систем, необходимы дальнейшие исследования процесса формирования и морфологии цист у *Dinophilus vorticoides*.

## Morphology of the *Dinophilus vorticoides* cysts

Matveicheva E.<sup>1</sup>, Fofanova E.<sup>2</sup>, Voronezskaya E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Department of Comparative and Developmental Physiology, Moscow

We studied the morphology of 1–2-week *Dinophilus vorticoides* cyst's ciliary, muscular and nervous systems, including the serotonin-like and FMRFamide-like immunoreactive elements and compared it to the adult morphology of these systems. 1–2-week cyst form a two-layer shell, ciliary structures degrade already on early stage of incysting, no significant differences were observed in muscular and nervous systems.

## **Особенности строения нервной и мышечной системы гидроидных полипов *Monobrachium parasitum***

Салова И.А. \*, Домрачева М.М., Хабибулина В.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: st096710@student.spbu.ru

Колониальные гидроидные полипы *Monobrachium parasitum* (Mereschkowsky, 1877) являются облигатными симбионтами небольших двустворчатых моллюсков, обитающих в полярных зонах. В связи с обитанием на раковине моллюска внешний вид питающихся полипов претерпел существенные изменения: у них имеется крупный гипостом с большим количеством стрекательных клеток и единственное щупальце. Соответствующие изменения, вероятно, затронули строение нервной и мышечной системы, поэтому целью данной работы стало исследование особенностей организации мускулатуры и RФамидергического компонента нервной системы полипов *M. parasitum*.

Колонии *M. parasitum* были собраны в г. Дальнезеленецкой Баренцева моря в августе 2023 года с раковин моллюсков *Macoma calcarea*. Окрашивание фаллоидином выявило многочисленные короткие продольные мышечные отростки во всем теле полипа, его щупальце и гипостоме. Эти отростки располагались равномерно и не образовывали каких-либо скоплений. По-видимому, продольная мускулатура обеспечивает небольшое сокращение и изгибание тела и щупальца. Поперечные мышечные отростки выявить не удалось. RФамидергические нервные элементы были представлены, во-первых, длинными продольными нейритами в теле, гипостоме и щупальцах. При этом количество выявленных нейритов в гипостоме было больше, чем в теле. Тел нейронов в данном случае выявить не удалось. Эти нервные элементы сопровождают мускулатуру и, вероятно, могут принимать участие в регуляции сокращения полипа. Вторая группа RФамидергических элементов была представлена многочисленными крупными клетками в эпидермисе гипостома, как правило, близко прилегающими к книдоцитам. Эти клетки обладали хорошо выраженным перикарионом и одним или двумя короткими отростками, направленными к центру тела полипа или продольно. Исходя из локализации этих клеток, их соседству с книдоцитами и ранее показанной чувствительной функцией у RФамидергических нейронов книдарий, мы полагаем, что они могут являться сенсорными и обеспечивать механо- и/или хеморецепцию гипостома.

Таким образом, мускулатура питающихся полипов *M. parasitum* представлена, в основном короткими продольными мышечными отростками. RФамидергические элементы нервной системы в теле выражены слабо, однако образуют множественное скопление сенсорных клеток на гипостоме полипа. Мы полагаем, что это связано с тем, что при утрате большей части щупалец основную чувствительную функцию на себя берет увеличенный гипостом.

## **Special features of muscle and nervous system organization in polyps of hydrozoan *Monobrachium parasitum***

Salova I., Domracheva M., Khabibulina V.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

We revealed special features of the neuromuscular system organization in colonial polyps of *M. parasitum*. Its musculature is presented by short longitudinal processes in the body, hypostome and tentacle. Rfamidergic nervous system is represented by solitary longitudinal neurites in the same parts and huge number of sensory neurons in the hypostome.

## Первое исследование *Cerastoderma edule* внутренних районов Кольского залива

Кожин И.В.<sup>1\*</sup>, Сказина М.А.<sup>1</sup>, Малавенда С.С.<sup>2</sup>, Марченко Ю.Т.<sup>1</sup>, Стрелков П.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Мурманский арктический университет, кафедра биологии и водных биоресурсов, Мурманск

\* e-mail: kozhinivan@yahoo.com

Литоральная сердцевидка *Cerastoderma edule* встречается вдоль побережий Атлантики от Африки до Мурманского побережья Баренцева моря. Экологические и генетические исследования *C. edule* Мурманска начала века (Genelt-Yanovskiy et al., 2010, 2018; Nazarova et al. 2015) почти не затронули Кольский залив, отчасти из-за того, что в годы исследований этот вид отмечали только во внешних районах залива. Однако сегодня мы находим его и во внутренних районах залива. Недавно, у *C. edule* был описан трансмиссивный рак (VTN), проявляющийся как диссеминированная неоплазия (DN) (Metzger et al., 2016). Целенаправленных исследований этой новой, малоизученной болезни в субарктических популяциях не проводилось.

Целью исследования явилось описание популяций *C. edule* Кольского залива и поиск в них VTN. В 2021–2023 годы были обследованы оба берега внутренних районов залива и найдено три популяции, в губах Грязная, Чалмпушка и Ретинская (последняя популяция была известна ранее, но не исследовалась). Эти популяции, вместе с популяциями из губ Пала и Тюва во внешних районах залива, были выбраны для исследования. Во всех губах проведены качественные сборы генетического анализа (полиморфизм фрагмента COI) и для диагностики DN (проточная цитометрия). Также везде, кроме Тювы, оценены обилие моллюсков (методом учетных рамок) и возрастная структура их популяций (возраст моллюсков — по кольцам зимней остановки роста). Полученные данные сравнивались с опубликованными данными по *C. edule* Мурманска, включая данные по единственной ранее изученной кольской популяции из губы Пала.

По популяционным характеристикам (обилие, возрастная структура) и по изменчивости COI, популяции залива оказались типичными для Мурманска. Средний возраст варьировался от 4,1 года в Грязной до 7,3 лет в Ретинском, а плотность от 30 шт/м<sup>2</sup> в Пале до единиц на 100 м<sup>2</sup> в Грязной. По COI наблюдалась высокая изменчивость между выборками в гаплотипическом разнообразии (H). H±SD варьировалось от 0,22±0,121 в Пале до 0,73±0,124 в Тюве. Это может свидетельствовать об относительно высокой генетической изоляции популяций друг от друга. Интригующим образом, в 2008 году в Пале гаплотипическое разнообразие составляло H = 0,75±0,064 (Genelt-Yanovskiy et al., 2018), что может указывать на временную динамику генофонда этой популяции. DN в ограниченном материале (N = 188) не нашли. Мы планируем продолжить мониторинг VTN у мурманских сердцевидок и проверить гипотезу о временной нестабильности их популяций, расширив область исследования до всего побережья.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ 19-74-20024.

## First study of *Cerastoderma edule* of the Kola Bay inland areas

Kozhin I.<sup>1\*</sup>, Skazina M.<sup>1</sup>, Malavenda S.<sup>2</sup>, Marchenko Y.<sup>1</sup>, Strelkov P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Murmansk Arctic University, Department of Biology and Aquatic Bioresources, Murmansk

The populations of *Cerastoderma edule* of the Kola Bay were studied in detail for the first time. The abundance, size and age structure of the populations, and COI polymorphism were studied. The diagnosis of disseminated neoplasia in *C. edule* from Russian populations was also carried out for the first time.

## Новые данные о пресноводной амёбе *Leptomyxa neglecta* (Amoebozoa, Tubulinea)

Кулишкин Н.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
e-mail: development.bio@gmail.com

Род *Leptomyxa* был установлен Гудеем в 1915 году (Goodey, 1915). В современной его интерпретации, он объединяет организмы, способные варьировать форму тела клетки от субцилиндрической, моноподиальной в движении, и до уплощенной и иногда сетчатой во время покоя или питания. Для представителей рода *Leptomyxa* характерно образование адгезивных уroidных филаментов.

Вид амёб *Rhizamoeba neglecta*, позже перенесенный в род *Leptomyxa* — (Smirnov et al., 2017), был описан из пресноводных местообитаний острова Валаам на основе микроскопических (LM, TEM) и молекулярных данных, собранных в период с 1998 по 2007 г. (Smirnov et al., 2009). Однако иллюстративный материал для этого вида нуждается в существенном дополнении. В частности, фотографии флотирующих форм клетки и деталей строения ядра отсутствуют, вместо них приведены схемы. Типового штамма установлено не было.

Спустя 20 лет с момента первого обнаружения, амёбы вида *L. neglecta* были реизолированы из типового местообитания. Сравнение ампликона гена 18S рРНК изолированного мной штамма с последовательностью гена 18S рРНК *R. neglecta* KT945251 из базы данных GenBank показало полную идентичность последовательностей. В ходе исследования для *L. neglecta* были получены современные светомикроскопические фотографии высокого разрешения, демонстрирующие ее основные морфологические характеристики. Впервые были получены микрофотографии флотирующих форм, цист и ядрышек разного размера и формы. Было показано, что эти амёбы, в норме моноподиальные, способны также принимать веерообразную форму и перемещаться, сохраняя такую морфологию. Один раз был отмечен процесс слияния псевдоподий и формирование анастомоза, однако сетчатую форму клетки этого вида не образовывали. Полученные данные существенно дополнили описание вида *L. neglecta*; теперь этот вид описан более детально и на современном уровне иллюстрирован высококачественными светомикроскопическими фотографиями.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий». Работа поддержана грантом РФФ 23-74-00050.

## New data on the freshwater amoeba *Leptomyxa neglecta* (Amoebozoa, Tubulinea)

Kulishkin N.

Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Department of Zoology of Invertebrates, Saint Petersburg

I reisolated organism *Leptomyxa neglecta* from the type location, bottom sediment of Lake Leshevoe (Valamo Island, Lake Ladoga), and obtained high-resolution microphotographs showing entire morphologies of this species. New data on locomotion and the structure of nucleus have been obtained.



## Морфологическая идентификация представителей рода *Dermamoeba* (Amoebozoa: Discosea) из наземных местообитаний

Чикадзе Е.Д. \*, Мезенцев Е.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: st107864@student.spbu.ru

Семейство Dermamoebida (Amoebozoa: Discosea) — группа голых лобозных амёб, включающая в себя четыре рода: *Dermamoeba*, *Paradermamoeba*, *Mayorella* и *Coronamoeba*. Представителей семейства в основном можно отнести к языковидному, ланцетовидному и майорельному морфотипам, однако недавно открытый вид *Coronamoeba villafranca* демонстрирует черты моноподиального морфотипа. Несмотря на сильные морфологические различия, на мультигенных филогенетических деревьях, представители семейства образуют высоко поддержанную монофилетическую ветвь. Полученная при молекулярных исследованиях информация помогла по-новому взглянуть на морфологические особенности группы и выделить некоторые общие черты. Например, одна из возможных апоморфий — усложнение организации гликокаликса.

Представители типового рода *Dermamoeba* известны с середины 19го века. Анализ фаунистических работ показал почти всеветное распространение амёб этой группы. Представители рода *Dermamoeba* обнаруживаются в листовом опаде, почве, грунте пресноводных водоемов. Для различных видов показано необычное пищевое поведение, как считается, возникшее в связи с развитием толстого гликокаликса и использованием в качестве пищи крупных неподвижных объектов, таких как конидии грибов, клетки водорослей и цисты других амёб. Подобная диета указывает на важную роль дермамеэб в пищевых цепях. Несмотря на широкую географию распространения и важную экологическую роль, на данный момент имеется ощутимый недостаток современных данных об этой группе. Сейчас известно только четыре вида рода *Dermamoeba*, при этом только для двух имеются молекулярные данные. Другие два вида, в том числе типовой вид *D. granifera*, последний раз подробно были изучены во второй половине XX-го века. Известные виды можно различить морфологически на основе сравнения размеров клеток и организации ядра.

На первом этапе современного изучения группы нами получены штаммы из географически удаленных точек: Дальние Зеленцы (мох), Ботанический сад СПбГУ (почва), Луга (почва), Кипр (мох и опад) и Сейшельские острова (мох).

Для изолированных штаммов были получены высококачественные световые фотографии и морфометрические данные. По морфологическим признакам большинство изолятов можно отнести к виду *D. fibula*. Амёбы из штаммов 156, 149 и штамм с Сейшельских островов имеют меньший размер и, вероятно, являются новыми для науки видами. Амёбы из лужского штамма сильно крупнее остальных и идентифицированы как *D. algensis*. Для более точной идентификации необходимо получить молекулярные данные.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-74-00050 с использованием оборудования РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ.

## Morphological identification of amoeba of the genus *Dermamoeba* (Amoebozoa: Discosea) from terrestrial habitats

Chicadze E., Mesentsev Y.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

We obtained *Dermamoeba* strains from various geographical locations. Morphologically, most of the isolates can be belonged to the *D. fibula*; the isolate from Luga is identified as *D. algensis*. The other three strains don't correspond to the descriptions of known species and are most likely new to science.

## Новый представитель рода *Ptolemeba* (Amoebozoa, Tubulinea, Hartmannellidae) — обитатель листового опада из ботанического сада СПбГУ

Таймарова К.М.<sup>1\*</sup>, Камышацкая О.Г.<sup>1,2</sup>, Кулишкин Н.С.<sup>1</sup>, Мезенцев Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт Цитологии РАН, лаборатория Цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

\* e-mail: st091701@student.spbu.ru

Лимаксные амёбы широко распространены в наземных местообитаниях. Это в основном небольшие амёбы (менее 70 микрометров в длину) монотактического морфотипа: моноподиальные, субцилиндрические в поперечном сечении, с единым направленным током цитоплазмы и гладкой, без складок поверхностью (Smirnov and Brown, 2004). Многие такие амёбы, согласно современной системе, относятся к семейству Hartmannellidae (Amoebozoa: Tubulinea: Euamoebida), хотя подобные морфологические признаки характерны также для некоторых других представителей класса Tubulinea — *Leptomyxa*, *Rhizamoeba* (Page 1988, 1974), Discosea: *Janickina pigmentifera*, *Coronamoeba villafranca* (Volkova and Kudryavtsev, 2021; Kudryavtsev et al., 2022) — и даже представителей групп за пределами Amoebozoa — *Naegleria*, *Vahlkampfia* (Discoba: Heterolobosea: Vahlkampfiidae) (Page 1969, 1988, 1991). Небольшое количество морфологических признаков практически не позволяет различать лимаксных амёб только при помощи методов световой микроскопии. В связи с этим молекулярные методы являются более надежным и удобным инструментом для идентификации и классификации подобных организмов.

В рамках нашей работы по изучению биоразнообразия амёб семейства Hartmannellidae, нами были собраны пробы листового опада из ботанического сада СПбГУ. Для получения обогатительных накопительных культур пробы высевали на питательный агар. В одном из высевов был обнаружен штамм, получивший название BsAm.

Амёбы полученного штамма были сравнительно небольшого размера: средняя длина 36 мкм (23–45 мкм, n=30), ширина, в среднем, 8 мкм (6–11 мкм). Отношение длины к ширине составляло 4–6 (в среднем 5). Клетки двигались моноподиально, лишь изредка образуя дополнительную псевдоподию при смене направления движения, имели продолговатую, червеобразную или булабовидную локомоторную форму. Фронтальная гиалиновая зона не всегда была заметна в движущейся клетке, но, если присутствовала, то была достаточно широкой. Задний конец клетки имел уроидные структуры ворсинчато-бульбовидного типа. В цитоплазме можно было наблюдать одно везикулярное ядро диаметром от 2 до 4 мкм (в среднем 3 мкм, n=30), пищеварительные вакуоли, как правило, одну сократительную вакуоль, а также многочисленные сферические включения разной плотности. Никаких кристаллов или других светопреломляющих структур обнаружено не было.

Для более точной идентификации амёб выделенного штамма нами была получена последовательность гена 18S рРНК. Она надежно группировалась в молекулярно-филогенетическом дереве с другими последовательностями представителей рода *Ptolemeba*, что соответствовало данным световой микроскопии. Однако данные морфометрии клеток выделенного штамма и наличие в последовательности гена 18S рРНК структурных различий, позволяют предположить, что изученные амёбы относятся к новому виду рода *Ptolemeba*.

Исследование выполняется при поддержке гранта РФФ 23-24-00264. При выполнении работы использованы технические возможности ресурсных центров «Культивирование микроорганизмов», «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Вычислительный центр СПбГУ» и «Биобанк» научного парка СПбГУ.

## A new representative of the genus *Ptolemeba* (Amoebozoa, Tubulinea, Hartmannellidae) isolated from terrestrial samples of the Saint Petersburg State University Botanical Garden

Taimarova K.<sup>1</sup>, Kamyshatskaya O.<sup>1,2</sup>, Kulishkin N.<sup>1</sup>, Mesentsev Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Saint Petersburg

We isolated strain BsAm from the leaf litter in the Botanical Garden of Saint Petersburg State University (Russia, Saint Petersburg). According to the light-microscopic and phylogenetic analysis based on the 18S rRNA gene, studied amoebae belong to the genus *Ptolemeba*. The sequence of this strain is structurally different from the sequences of other species in this genus, and probably belongs to a new species.

**Новый представитель группы близких видов *Thecamoeba similis* (Thecamoebidae; Discosea; Amoebozoa)**

*Шкляр А.А. \*, Мезенцев Е.С.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\*e-mail: arseniy.shkliar@yandex.ru

Лобозные амёбы рода *Thecamoeba* широко распространены в природе и могут быть изолированы из различных местообитаний. Текамеб сравнительно легко распознать в накопительных культурах благодаря уникальному набору морфологических признаков: отсутствие псевдоподий и субпсевдоподий во время локомоции, уплощенная форма тела и наличие на поверхности клетки складок или гребней. Совокупность морфологических особенностей позволяет отнести текамеб к стриа́тному или руго́зному морфотипам. Долгое время считалось, что текамебы — одна из немногих групп голых лобозных амёб, представителей которой можно сравнительно просто идентифицировать до вида на светомикроскопическом уровне. Основными определительными признаками для идентификации отдельных видов текамеб служат морфологические особенности и размер локомоторной формы, а также общий паттерн организации ядрышкового материала. Однако, ряд последних исследований показал, что каждый «классический» вид, может скрывать группу морфологически похожих видов. Кроме того, был описан вид *T. astrologa*, демонстрирующий сильный полиморфизм по одному из основных определительных признаков текамеб — строению ядра. Эти исследования показали необходимость получения молекулярных маркеров для идентификации видов.

В рамках исследования разнообразия лобозных амёб из наземных местообитаний, из листового опада на острове Среднем Керетского архипелага Белого моря была изолирована культура текамеб. Для дальнейшего изучения была получена клональная культура, получившая название Та56. Совокупность морфологических признаков изолята позволяет отнести его к группе близких видов *T. similis*. Морфологические исследования также показали полиморфизм организации ядрышкового материала Та56 в рамках паттерна, характерного для этой группы видов. Полученная последовательность гена 18S рРНК амёб, оказалась не идентичной ни одной из последовательностей в базе данных GenBank. Прямое сравнение нуклеотидных последовательностей и филогенетический анализ подтвердил, что штамм Та56 относится к группе близких видов *T. similis*. На филогенетическом дереве последовательность Та56 занимает самое близкое положение к последовательностям гена 18S рРНК клеток из типовой культуры *T. similis*. Уровень сходства последовательностей довольно высокий (97%), но кроме одиночных замен, имеются различия во вторичной структуре 18S рРНК, которые позволяют считать штамм Та56 новым видом.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-24-00397 с использованием оборудования РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ.*

**New representative of sibling species group *Thecamoeba similis* (Thecamoebidae; Discosea; Amoebozoa)**

*Shklyar A., Mesentsev Y.*

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

We isolated thecamoeb from the leaf litter of Sredniy Island (Keret Archipelago, White Sea). We did a modern light microscopic and molecular study. The obtained data allow us to belong the isolated strain to a new species in the “*T. similis* species group”.

**Новые данные по морфологии *Haplozoon armatum* Dogiel, 1906 (Dinoflagellata),  
кишечного паразита полихеты *Travisia forbesii* Johnston, 1840**

Прилуцкий М.Е. \*, Паскерова Г.Г.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: st086753@student.spbu.ru

*Haplozoon* Dogiel, 1906 — род одноклеточных эукариот из группы Dinoflagellata (Alveolata), паразитирующих в кишке морских полихет. Представители этого рода обладают рядом черт, не типичных для динофлагеллят: ведут паразитический образ жизни и не имеют жгутика на стадии трофонта, прикрепляются к эпителию кишки хозяина с помощью стилетоподобной органеллы, образуют внутриклеточные компартменты с ядрами, т.е. демонстрируют своего рода функциональную многоклеточность. Известно три типа компартментов клетки: трофомеры (осуществляют прикрепление к эпителию), гономеры (предположительно, специализируются на питании, составляют большую часть тела паразита) и споромеры (образуют задний конец тела, от которого отпочковываются дочерние клетки — предположительно, следующие стадии жизненного цикла паразита). Эти группы компартментов последовательно сменяют друг друга и образуют один или несколько продольных рядов, в случае типового вида *Haplozoon armatum* — два. Покровы клетки представлены цитоплазматической мембраной и подлежащими амфиесмальными пузырьками (альвеолами). Эти же пузырьки отвечают за разделение компартментов паразита, а также прогибают изнутри цитоплазматическую мембрану, что придает поверхности клетки характерную форму. *H. armatum*, паразитирующий в полихете *Travisia forbesii*, был впервые описан более 100 лет назад — в 1906 году — профессором Санкт-Петербургского Императорского университета В.А. Догелем. Однако и сегодня для него существуют только данные световой микроскопии, а данные современного анализа (трансмиссионная и сканирующая электронная микроскопия, молекулярное секвенирование) были представлены для некоторых других видов рода, но не для типового вида. Мы провели исследование с использованием сканирующей электронной микроскопии и сравнили общее строение и поверхностную организацию клетки этого вида со строением других видов рода *Haplozoon*. Мы представляем новые данные, которые значительно дополняют описание типового вида, делают вклад в познание разнообразия динофлагеллят и расширяют наши представления о паразитических протистах в целом.

Проект выполняется в РЦ СПбГУ (№109-32391).

**New data on the morphology of *Haplozoon armatum* Dogiel, 1906 (Dinoflagellata), an intestinal  
parasite of the polychaete *Travisia forbesii* Johnston, 1840**

Prilutsky M. \*, Paskerova G.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

*Haplozoon* (Dinoflagellata, Alveolata) are different from most dinoflagellates in their lack of flagella, parasitic lifestyle, and functional multicellularity. For the first time, we compared the general structure and cell surface organization of the type species *H. armatum* with that of other species of the genus.

## Разнообразие гемоспоридий (Apicomplexa, Haemosporida) птиц Белого моря

Ерохина М.М.<sup>1,2\*</sup>, Платонова Е.В.<sup>1</sup>, Давыдов А.А.<sup>1</sup>, Мухин А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Биологическая станция «Рыбачий»

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии позвоночных, Москва

\* e-mail: erokhina.marija96@gmail.com

Гемоспоридии родов *Plasmodium*, *Haemoproteus* и *Leucocytozoon* — одни из самых распространенных кровепаразитов птиц, которые передаются с помощью самок кровососущих двукрылых. Эти паразиты способны вызывать серьезные заболевания, такие как малярия и другие гемоспоридиозы, особенно если птица заражается «новым» для нее видом паразита. В последние годы активно обсуждается проблема изменения климата и влияние этого процесса на распространение гемоспоридий из тропических регионов в северные. Поэтому мониторинговые исследования зараженности птиц гемоспоридиями важны для оценки эпидемиологической обстановки в популяциях диких птиц северных регионов Палеарктики, и, в частности, на территории северной Европы.

Цель нашей работы — исследовать зараженность птиц гемоспоридиями в районе Белого моря. Образцы от 175 воробьиных птиц (26 видов из 10 семейств) были собраны в июне–июле 2022/2023 годов на Биологической станции «Картеш» Зоологического института РАН, которая находится на мысе Картеш Кандалакшского залива Белого Моря (66В°20.230' N; 33В°38.972' E). Зараженность птиц гемоспоридиями оценивалась с помощью микроскопии мазков крови, а также методом полимеразной цепной реакции (ПЦР-анализа) с амплификацией гена *cyt b* паразита. Гемоспоридии были обнаружены у почти 40% исследованных птиц. Наиболее распространенными были паразиты родов *Haemoproteus* и *Leucocytozoon* (40 и 37 зараженных особей соответственно). Зараженность паразитами рода *Plasmodium* была низкой, малярия была найдена только у 4 птиц. У 10% исследованных особей было выявлено коинфицирование, в основном паразитами из родов *Haemoproteus* и *Leucocytozoon*. Продукты амплификации образцов крови всех инфицированных птиц были секвенированы и использованы для анализа генетического разнообразия гемоспоридий в районе исследования.

*Проект выполняется при поддержке гос. задания ЗИН РАН №122031100261-7.*

## Prevalence of avian haemosporidian parasites (Apicomplexa: Haemosporida) in wild birds of Kartesh cape (White Sea)

Erokhina M.<sup>1,2</sup>, Platonova E.<sup>1</sup>, Davydov A.<sup>1</sup>, Mukhin A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Biological Station “Rybachy”

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Department of Vertebrate Zoology, Moscow

We studied the prevalence of avian malaria and related haemosporidian parasites in the blood of birds that inhabit the Kartesh cape of the White Sea. Infection of haemosporidians was found in approximately 40% of collected individuals (175). The most prevalent parasites were *Haemoproteus* and *Leucocytozoon* while the prevalence of *Plasmodium* was very low.

## **Неклассический способ формирования тегумента: развитие и строение цистофорных церкарий трематод (Digenea: Hemiuroidea)**

Скобкина О.А.<sup>1\*</sup>, Кремнев Г.А.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов

Санкт-Петербург

\* e-mail: levuyashyk@mail.ru

Тегумент — это своеобразно устроенные покровы паразитических плоских червей (Neodermata), в том числе трематод. Тегумент взрослой гермафродитной особи трематод (мариты) формируется на стадии хвостатой личинки — церкарии. Считается, что у всех трематод механизм формирования тегумента сходный (Галактионов, Добровольский 1998). Сначала эмбрион, состоящий из недифференцированных клеток, покрыт зародышевой мембраной, сформированной за счет слияния нескольких макромеров. Затем под ней обнаруживаются уплощенные клетки, которые сливаются, образуя синцитий. Синцитий утолщается, формируется базальная пластинка, а ядра дегенерируют. Далее, субтегументальные клетки, лежащие глубже в паренхиме, соединяются с синцитием цитоплазматическими мостиками, и таким образом заканчивается формирование тегумента.

Объектом нашего исследования являются цистофорные церкарии надсемейства Hemiuroidea. Их хвост сильно модифицирован, он образует полую хвостовую капсулу, в которую помещено тело инвазионной церкарии, и извергательную трубку, обеспечивающую заражение следующего хозяина. В литературе существует очень мало данных, описывающих ультратонкое строение хвостовой капсулы и развитие этих церкарий. Но есть множество работ, выполненных на светооптическом уровне, которые показывают, что в хвостовой капсуле инвазионных церкарий нет ядер, а стенки капсулы не похожи на живые структуры. Снаружи капсула покрыта тонким слоем, который явно нельзя назвать типичным тегументом. Каким образом формируется и как устроен такой хвост?

В данной работе были исследованы церкарии *Derogenes cf. varicus* (три близких вида) и *Progonus muelleri*. Материал был собран в Белом, Баренцевом и Японском морях. Церкарий исследовали с помощью световой, конфокальной, сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии.

Формирование тегумента хвоста отличается от привычного. У эмбрионов в наружной пластинке тегумента присутствуют ядра и митохондрии, аппарат Гольджи, рибосомы и другие органоиды. Под этим синцитием формируется толстая, состоящая из разнонаправленных волокон базальная пластинка. Далее наружная синцитиальная пластинка становится электронно-светлой и дегенерирует, так что от нее остается только электронно-плотный бугорчатый слой. Под базальной пластинкой на ранних этапах развития лежат крупные клетки, но цитоплазматических мостиков не наблюдалось. У инвазионных церкарий в хвостовой капсуле были обнаружены только крупные клетки без ядер и с электронно-светлой цитоплазмой. Вероятно, они выполняют опорную функцию.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-24-00376 и с использованием оборудования НП СПбГУ, ресурсных центров «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Хромас».

## **Unconventional mechanism of tegument formation: structure and development of cystophorus cercariae (Digenea, Hemiuroidea)**

Skobkina O.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

Cystophorous cercariae larvae are characteristic of the digenean superfamily Hemiuroidea. Their tail forms a hollow caudal cyst and a delivery tube. We investigated the structure of caudal cyst walls. An unusual mechanism of tegument formation has been discovered.

## **Пигментированные фоторецепторы и ассоциированные с ними нервные структуры у церкарий из семейств Notocotylidae и Brachycladiidae**

*Ефременкова Ю.А.<sup>1\*</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1</sup>, Кремнев Г.А.<sup>1,2</sup>, Скобкина О.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: yuliavishev001@gmail.com

В жизненном цикле дигенетических трематод (Digenea) присутствуют как эндопаразитические, так и свободноживущие стадии. У расселительных личинок гермафродитного поколения трематод — церкарий — часто имеются фоторецепторные структуры. Теме строения фоторецепторов у церкарий посвящено небольшое количество литературы. Были описаны пигментированные и непигментированные рабдомерные фоторецепторы у церкарий *Cryptocotyle lingua* (Rees, 1975), *Trichobilharzia ocellata* (Sopott-Ehlers et al., 2003) и предположительно цилиарные фоторецепторы у церкарий *Schistosoma mansoni* (Short, Gagné, 1975). На настоящий момент исследования фоторецепторных структур у церкарий проводились почти исключительно при помощи трансмиссионной микроскопии (ТЭМ). Можно заметить недостаток сравнительного материала по данной теме, а иммуноцитохимические методы практически не применялись к исследованию фоторецепторов.

Цель нашего исследования — описать строение пигментированных фоторецепторов и прилегающих к ним нервных структур у церкарий нескольких близких видов из семейства Notocotylidae и одного вида семейства Brachycladiidae (*Campula oblonga*). Для этого мы использовали методы иммуноцитохимии (мечение антителами к серотонину, FMRF-амиду, тирозинилированному тубулину) и конфокальную микроскопию. В дальнейшем мы планируем дополнить наше исследование результатами ТЭМ.

У исследованных церкарий выявляется ортогональная нервная система: парный церебральный ганглий, три пары продольных нервных стволов и поперечные комиссуры.

У нотокотилидных церкарий насчитывается шесть пар серотонинэргических нейронов. Одна пара лежит в передних углах церебрального ганглия, и две пары — в задних. Также две пары нейронов ассоциированы с дорзальными нервными стволами. Кроме того, присутствует пара нейронов в основании хвоста. FMRF-эргические элементы хорошо видны как в церебральном ганглии, так и во всех трех парах нервных стволов. Их скопление наблюдается в районе дорзальных прикрепительных карманов и ротовой присоски. Видны пара нервных тяжей (дорзальный и вентральный) в хвосте личинки. К глазным бокалам подходят нервные отростки, в него же заходят FMRF-эргические и серотонинэргические структуры.

У *C. oblonga* в церебральном ганглии расположены десять серотонинэргических нейронов: по пять с каждой стороны. Также две пары нейронов лежат вблизи вентральных нервных стволов в районе брюшной присоски. Присутствует пара нейронов в хвосте. К каждому пигментированному глазку подходят нервные структуры, но не видно, как они заходят в него, поскольку бокал небольшой.

Можно выделить следующие различия в строении фоторецепторов и нервной системы исследованных церкарий: более компактное расположение серотонинэргических нейронов у *C. oblonga* по сравнению с церкариями из семейства Notocotylidae, их разное количество, а также разное распределение нервных структур, прилегающих к фоторецепторам личинок.

*Работа выполнена с использованием оборудования НП СПбГУ, ресурсных центров «Микроскопии и микроанализа» и «Хромас».*

## **Pigmented photoreceptors and associated nervous structures in cercariae of the families Notocotylidae and Brachycladiidae**

*Efremenkova Y.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>1,2</sup>, Skobkina O.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

The aim of the study is to identify differences and describe the structure of pigmented photoreceptors and neighboring nervous structures in cercariae from the families Notocotylidae and Brachycladiidae (*Campula oblonga*) by means of immunofluorescence labelling and confocal microscopy.

## Структура системы ретракторов *Polymorphus phippi* (Acanthocephala: Polymorphidae)

Дюмина А.В.

Зоологический институт РАН, Лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург  
e-mail: d\_alexia@mail.ru

Тип Acanthocephala — группа эндопаразитов водных и наземных позвоночных, представленных во всех классах. Их таксономия до сих пор является предметом дискуссий. Наиболее надежными таксономическими признаками беспозвоночных считаются черты строения склеротизированных структур, в случае скребней — вооружения прикрепительного аппарата. Однако представители выделенных на их основе таксонов (Хохлова, 1986) в молекулярно-филогенетических исследованиях часто попадают в разные клады (Garcia-Varela et al., 2005). Следовательно, необходим поиск других таксономически значимых признаков методами сравнительной морфологии.

Помимо вооружения прикрепительного аппарата Монкс (Monks, 2001) обращает внимание на мускулатуру, обеспечивающую его подвижность — систему ретракторов. Предложенный им набор признаков заметно расширяется в серии работ по представителям рода *Corynosoma*, входящего в морфологически разнородное семейство Polymorphidae (Aznar et al., 1999, 2006, 2013, 2018). Причем построенная на их основе система рода, в отличие от системы полиморфид, согласуется с молекулярно-генетическими данными. Однако использование описанных в данных публикациях методов — реконструкции по гистологическим срезам и SEM по тонко отпрепарированным образцам — сделает последующий сравнительно-морфологический анализ очень медленным и трудоемким. Применение методов конфокальной микроскопии поможет значительно ускорить этот процесс.

Для исследования мной был выбран включенный в полифилетический род вид полиморфид *Polymorphus phippi*, массовых высоко патогенных паразитов утиных северных морей. Образцы были окрашены TRITC-фаллоидином (впервые для скребней — успешно) и DAPI. По полученным изображениям описаны следующие черты строения системы ретракторов. Ретрактор шейки делится на две широких латеральных мышцы, срастающиеся на вентральной и дорсальной стороне середины передней части метасомы. Ретрактор хоботкового влагалища имеет трубчатую форму, и прикрепляется к стенке тела в районе перетяжки. От латеромедиальной стороны лемнисков отходят их ретракторы, прикрепленные ниже перетяжки. Ретинакулы (участки латеральных нервов, проходящие через полость тела, оплетенные мышечными волокнами) выходят из хоботкового влагалища латерально в задней его трети.

Подобное строение ретрактора хоботкового влагалища ранее было описано только для представителей рода *Mediorhynchus* (Schmidt, 1977), а ретракторов лемнисков — только у *Rhadinorhynchus pristis* (Monks, 2001), разделение ретрактора шейки на несколько мышц — только для представителей рода *Corynosoma*. Результаты данного исследования позволяют взглянуть совершенно по-новому на строение мускулатуры не только полиморфид в частности, но и в контексте плана строения Acanthocephala в целом.

Работа выполнена на базе Зоологического института РАН и ресурсного центра СПбГУ «Микроскопии и микроанализа» за счет средств гранта РФФИ № 23-14-00329.

## Retractors system of *Polymorphus phippi* (Acanthocephala: Polymorphidae)

Diumina A.

Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists researches, Saint Petersburg

This study contents the first description of acanthocephalan anterior muscles based on confocal microscopy. The object is *Polymorphus phippi*, species from polyphyletic genus of highly morphological diverse family Polymorphidae with ambiguous taxonomy. Our results are not only valuable for taxonomy, but also change the whole vision of acanthocephalan muscle morphology.



## Реконструкция нервной и рецепторной системы самки *Intoshia linei* (Orthonectida)

Раннопорт А.В. \*, Слюсарев Г.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
e-mail: septiger@yandex.ru

Ортонектиды (Orthonectida) — группа паразитов, характеризующаяся однохозяиным жизненным циклом. Он включает в себя стадию плазмодия, паразитирующего в разных беспозвоночных животных. Плазмодий отрождает свободноживущие стадии: самцов и самок. После их копуляции образуются личинки. Они покидают материнский организм и заражают нового хозяина.

Целью данного исследования была реконструкция строения нервной и рецепторной системы самки ортонектид вида *Intoshia linei* на основании данных, полученных при помощи 3D-сканирующей электронной микроскопии, а также данных предыдущих исследований.

Материал для данного исследования собирали на Баренцевом море (окрестности поселка Дальние Зеленцы (69°07' с.ш. и 36°05' в.д.). Немертин вида *Lineus ruber*, зараженных *Intoshia linei*, собирали и в последствии содержали в лаборатории. Выходящих самок ортонектид фиксировали и исследовали при помощи конфокальной микроскопии (обработка глиоксиловой кислотой, а также антителами на серотонин и FMRF-амид). Часть самок исследовали при помощи трансмиссионной электронной микроскопии и 3D-сканирующей электронной микроскопии. Полученные данные были проанализированы в программе Fiji и послужили основой для создания 3D модели строения нервной системы.

Нервная система самки *Intoshia linei* включает восемь серотонинергических клеток и шесть клеток содержащих FMRF-амид. При помощи окраски глиоксиловой кислотой нам удалось выявить еще девять предположительно рецепторных клеток, расположенных в передней части самки.

Данные полученные при помощи 3D-сканирующей электронной микроскопии подтвердили и уточнили результаты, полученные при помощи конфокальной микроскопии. Было выявлено 58 нервных клеток (из них 24 — рецепторные клетки). Это позволяет говорить о нервной системе *Intoshia linei*, как об одной из самых малоклеточных нервных систем среди Spiralia. Дорсально в передней части самки (в области первого–третьего ооцита) образуется ганглиозное скопление из 17 пар симметрично расположенных клеток.

Рецепторы самки *Intoshia linei* по данным электронной микроскопии представлены несколькими группами клеток. Три клетки расположены в передней части самки и дают отростки к апикальной поверхности самки. Рядом с ними лежат тела шести клеток двух морфологических групп, дающих отростки к латеральной поверхности самки. Мы предполагаем, что клетки одной из этих групп детектируются при окраске глиоксиловой кислотой. Также по направлению к заднему концу самки последовательно лежат еще два круга из шести и девяти рецепторных клеток. Все рецепторные клетки независимо дают отростки к ганглиозному скоплению нейронов в дорсальной части самки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-24-00193 с использованием оборудования РЦ «Ресурсный центр микроскопии и микроанализа СПбГУ».

## Reconstruction of the nervous and receptor system of the female *Intoshia linei* (Orthonectida)

Rappoport A., Slyusarev G.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

Sexual individuals of the Orthonectida are characterized by variability of nervous system structure. The aim of this study was to analyze the nervous system of *Intoshia linei* female. Using confocal microscopy, we found eight serotonin- and six FMRF-amide-immunoreactive cells. According to the data obtained by electron microscopy, 34 nerve cells and 24 cells possibly performing a receptor function were identified.

## **Мышечная и лакунарная системы экстерны и их роль в транспорте питательных веществ у представителей сем. Polyascidae (Cirripedia: Rhizocephala)**

Арбузова Н.А.<sup>1,2\*</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>1,2</sup>, Матач Д.А.<sup>1,2</sup>, Миролюбов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: arbuzovanata0211@gmail.com

Для большинства Metazoa характерно наличие циркуляторных систем, необходимых для транспорта веществ внутри организма и интеграции отдельных его частей. Однако у многих организмов эти системы остаются слабо изученными.

Одними из наиболее видоизмененных ракообразных являются корнеголовые (Cirripedia: Rhizocephala). Тело самки — паразитирующей стадии — подразделено на два отдела. В гемоцеле хозяина расположена интерна — система столон, поглощающих питательные вещества и участвующих в регуляции паразито-хозяйинных отношений. Интерна посредством стебелька соединена с экстерной — вторым отделом тела, вынесенным над покровами хозяина и выполняющим репродуктивную функцию. Основные органы экстерны расположены в ее висцеральной массе. Снаружи экстерна покрыта мантией, ограничивающей мантийную полость с развивающимися личинками. Некоторые исследователи описывали систему лакун экстерны — полостей, соединенных через просвет стебелька с каналом в столонках интерны. Совокупность этих полостей играет роль циркуляторной системы у ризоцефал. Однако механизмы транспорта в этой системе и ее пространственная организация у большинства представителей корнеголовых оставались неизученными. Мы предполагаем, что в движении жидкости по лакунам может участвовать в том числе мускулатура экстерны. Ранее нами были описаны мышечная и лакунарная система у вида, относящегося к базальному семейству Peltogasterellidae, все представители которого являются модульными организмами. На данном этапе работы мы сосредоточились на строении экстерн представителей сем. Polyascidae — одного из наиболее продвинутых семейств “Kentrogonida”, некоторые виды которых являются модульными.

Целью нашей работы были визуализация и описание лакунарной и мышечной систем у двух представителей сем. Polyascidae — *Polyascus polygeneus* и *Parasacculina pilosella*. Исследование проводилось методами компьютерной микротомографии и конфокальной микроскопии.

С помощью компьютерной микротомографии были визуализированы участки лакунарной системы в основании экстерны, в стенке мантии, а также лакуна, связанная с висцеральной массой. Также были уточнены детали пространственной организации экстерн у представителей этого семейства. В частности, был обнаружен второй мезентерий, с помощью которого висцеральная масса соединяется с мантией, чего ранее в литературе описано не было. С помощью конфокальной микроскопии была визуализирована мышечная система в разных участках экстерн. Также впервые было показано, что мускулатура мантии закладывается не одновременно по крайней мере у одного из видов — *Polyascus polygeneus*. В молодых экстернах присутствуют только продольные мышцы, позже появляются и кольцевые.

Полученные нами результаты вместе с уже имеющимися данными по другим видам ризоцефал позволяют пролить свет на эволюцию циркуляторных систем корнеголовых.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-24-00133.*

## **Muscular and lacunar systems of the externa and their role in nutrient transport in the family Polyascidae (Cirripedia: Rhizocephala)**

Arbuzova N.<sup>1,2</sup>, Lianguzova A.<sup>1,2</sup>, Matach D.<sup>1,2</sup>, Mirolubov A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrates Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

Organization of circulatory systems is one of the key aspects of functional morphology. Unfortunately, it is still poorly studied in parasites. We have visualized lacunar and muscular systems in *Polyascus polygeneus* and *Parasacculina pilosella*. Obtained results could elucidate transport mechanisms in Rhizocephala.

## Исследование скрытого биоразнообразия *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Петруняк А.М.<sup>1</sup>, Ласкова Е.П.<sup>1</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1</sup>, Полюшкевич Л.О.<sup>3</sup>,

Арбузова Н.А.<sup>1,2</sup>, Миролюбов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, ЦКП «Таксон», Санкт-Петербург

\* e-mail: st101563@student.spbu.ru

Rhizocephala или корнеголовые ракообразные (Thecostraca: Cirripedia) — это облигатные паразиты ракообразных, в основном десятиногих раков. Взрослые особи корнеголовых утратили внешний облик, характерный для свободноживущих усоногих, а физиология и жизненный цикл этих организмов претерпели ряд радикальных изменений в ходе адаптации к эндопаразитическому образу жизни. В теле взрослых самок выделяют две части: интерну — сеть трофических ветвящихся столонов внутри тела хозяина, и экстерну — мешковидную структуру, выполняющую репродуктивную функцию.

Некоторые виды корнеголовых могут встречаться на нескольких видах хозяев, в то время как для других была показана строгая видоспецифичность. Наш объект исследования — *Peltogasterella gracilis* из семейства Peltogasterellidae — был отмечен у следующих Decapoda: *Pagurus middendorffii*, *P. pectinatus*, *P. brachiomastus*. Особи этого паразита из разных видов хозяев имеют некоторые отличия в строении тела: размер экстерн, локализация, степень и характер ветвления столонов. Это может указывать на то, что под названием *P. gracilis* объединяется комплекс криптических видов. Целью нашей работы было выяснить, является ли *P. gracilis* одним видом с широким кругом хозяев или же это группа криптических видов.

Сбор материала был проведен на морской биологической станции «Восток» ННЦМБ ДВО РАН. К настоящему времени мы выделили ДНК из 6 образцов *P. gracilis*, обнаруженных на *P. middendorffii*. Мы использовали следующие методы: выделение ДНК из экстерн фенол-хлороформом, а также при помощи ионообменной смолы Chelex. Для полученных изолятов мы провели ПЦР по двум маркерам: фрагмент 18S рДНК и фрагмент митохондриального гена *cox1*. Мы планируем секвенировать по Сэнгеру данные фрагменты для определения видового статуса паразита.

Кроме того, для подтверждения видовой принадлежности хозяев, мы также собираемся провести секвенирование фрагментов 18S рДНК, полученных из мышц раков-отшельников.

В дальнейшем, в случае выявления генетических различий межвидового уровня между паразитами из разных хозяев, мы планируем поиск возможных морфологических различий методами гистологии и трансмиссионной электронной микроскопии.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-24-00133.*

## The research of hidden biodiversity of *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Petruniak A.<sup>1</sup>, Laskova E.<sup>1</sup>, Lianguzova A.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>, Poliushkevich L.<sup>3</sup>, Arbuzova N.<sup>1,2</sup>,

Miroliubov A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrates Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, “Taxon”, Saint Petersburg

Inside parasitic barnacles (Rhizocephala) there could be a hidden diversity of cryptic species due to their morphology simplicity. We have sequenced 18S rDNA and *cox1* gene fragments of individuals from different hosts to stress this hypothesis.

## Скрытое разнообразие мечниковеллид Баренцева моря

Фролова Е.В.<sup>1,2\*</sup>, Райко М.П.<sup>1,3</sup>, Бондаренко Н.И.<sup>1,2</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>2</sup>, Симдянов Т.Г.<sup>4</sup>, Смирнов А.В.<sup>1,2</sup>,  
Насонова Е.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Лаборатория цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт трансляционной медицины, Центр алгоритмической биотехнологии, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

Metchnikovellida — особая группа микроспоридий, родственных грибам паразитических протистов. Все известные мечниковеллиды паразитируют в грегарирах из кишечников морских беспозвоночных, то есть являются гиперпаразитами. Для них характерно наличие двух типов спорогонии в жизненном цикле. Первый тип спорогонии заканчивается формированием множества спор либо напрямую в цитоплазме хозяина, либо под мембраной вакуоли. Второй тип спорогонии приводит к образованию толстостенных «цист» (споровый мешок, *spore sac*) со спорами. Число спор в цистах может варьировать либо быть постоянным, в зависимости от вида. Цисты так же могут либо формироваться непосредственно в цитоплазме хозяина, либо в вакуолях. Обычно первый тип спорогонии предшествует образованию цист. Форма и размер цист, их морфологические особенности представляют собой видоспецифические признаки. Известно, что филогенетически мечниковеллиды — сестринская группа «высших» микроспоридий, однако характер взаимоотношений внутри группы все еще остается неясным в виду малой выборки видов мечниковеллид. Таким образом, нами была поставлена цель изучить новый вид мечниковеллид из архигрегаринов полихеты *Travisia forbesii*, охарактеризовать его морфологию и проанализировать филогенетическое положение на дереве мечниковеллид.

В цитоплазме архигрегаринов *Selenidium* sp. из полихет *Travisia forbesii*, собранных на сублиторали Кандалакшского залива Белого моря и Зеленецкой губы Баренцева моря, были обнаружены цисты и свободные споры мечниковеллид. Цисты имели удлиненную форму с небольшим изгибом. Они имели одно полярное утолщение (пробку) и содержали 12–14 округлых спор. Как цисты, так и свободные споры находились непосредственно в цитоплазме клетки-хозяина. Вопреки каноническому представлению о развитии мечниковеллид, у этого гиперпаразита часто наблюдается формирование цист в отсутствии следов протекания свободной спорогонии. Сочетание морфологических особенностей и круга хозяев отличает изученные изоляты от других известных видов мечниковеллид. Анализ фрагмента (1345 п.о.) гена малой субъединицы рРНК показал, что изученные изоляты из двух географически удаленных точек практически идентичны (идентичность 99,2% — очень высокое сходство для дивергентных последовательностей мечниковеллид) и образуют новую линию мечниковеллид, что также подтверждается результатами филогеномного анализа. Кроме того, анализ молекулярных данных продемонстрировал наличие смешанной мечниковеллидной инфекции в популяции полихет *T. forbesii* губы Зеленецкой. Помимо последовательности морфологически охарактеризованной мечниковеллиды мы обнаружили еще одну последовательность предполагаемого второго гиперпаразита, морфологические характеристики которого не известны. Выявленные у баренцевоморских тревизий гиперпаразиты образуют две новые и хорошо поддерживаемые линии на филогеномном дереве мечниковеллид. Данное исследование подтвердило широкое распространение смешанных инфекций мечниковеллид в гемипопуляциях грегаринов полихет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-74-00071.

## Hidden diversity of metchnikovellids in the Barents Sea

Frolova E.<sup>1,2\*</sup>, Raiko M.<sup>1,3</sup>, Bondarenko N.<sup>1,2</sup>, Paskerova G.<sup>2</sup>, Simdyanov T.<sup>4</sup>, Smirnov A.<sup>2</sup>, Nasonova E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Institute for Translational Biomedicine, Centre for Algorithmic Biotechnology, Saint Petersburg

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

We described new metchnikovellids from archigregarines of *Selenidium* sp. from *Travisia forbesii* polychaetes collected in the White and Barents Seas. The two revealed isolates from the Barents Sea specify two new lineages in the phylogenetic tree of metchnikovellids.

## Паттерны географической генетической изменчивости трематод рода *Microphallus*

### (Microphallidae, Digenea)

Соколова А.И.<sup>1,2\*</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>, Галактионов К.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: alinaigorevna1864@mail.ru

Молекулярно-генетические данные в рамках интегративного подхода уже позволили уточнить видовое разнообразие во многих группах трематод. Изучение генетической изменчивости трематод на внутривидовом уровне все еще не так распространено, несмотря на ценность таких данных, в частности, для определения видовых границ в проблемных случаях и для понимания биогеографических закономерностей. Этим вопросам посвящены наши исследования трематод, циркулирующих в прибрежье морей севера Палеарктики, в частности — микрофаллид.

Базовый жизненный цикл представителей рода *Microphallus* включает трех хозяев. Первые промежуточные хозяева — в основном моллюски отряда Littorinimorpha. Роль второго промежуточного хозяина играют ракообразные (крабы, раки), в которых формируются инвазионные для окончательных хозяев (птиц) метацеркарии. У ряда видов второй промежуточный хозяин выпадает, и метацеркарии формируются в моллюске. Один из таких видов, *M. pseudopygmaeus*, отличается также тем, что имеет необычно широкую специфичность к первому промежуточному хозяину. Трематоды рода *Microphallus* имеют широкое географическое распространение, однако внутривидовая генетическая изменчивость была исследована только для *M. piriformes* (Repkin et al., 2020).

Мы сравнили внутривидовую географическую генетическую изменчивость для трех видов рода *Microphallus*: *M. similis*, *M. pseudopygmaeus* и *M. piriformes*. Были исследованы образцы из разных регионов: Белое море, Баренцево море (Восточный Мурман, побережье Норвегии), Печорское море, побережье Исландии, Охотское море. В качестве маркерной последовательности был амплифицирован и секвенирован фрагмент гена *cox1*. Получено 17 последовательностей для разных изолятов *M. piriformes*, 15 — *M. similis* и 45 — *M. pseudopygmaeus*. В анализ также включены данные из GenBank.

Внутривидовая изменчивость составила 0,8–1,7%, а межвидовая — 9–14%. По всей видимости, среди изолятов *M. pseudopygmaeus* и *M. similis* есть примеры гостальной генетической изменчивости, но для более определенных выводов об этом необходимо исследовать больше образцов. Изоляты *M. similis* и *M. pseudopygmaeus* из Охотского моря относительно обособлены, но довольно близки к европейским гаплотипам, что говорит о возможном потоке генов между удаленными популяциями.

Паттерны изменчивости в исследованных видах рода *Microphallus* можно объяснить особенностями их жизненных циклов и набором хозяев, что будет подробнее освещено в докладе.

Работа поддержана грантом РНФ 23-14-00329; секвенирование выполнено в Научном парке СПбГУ (ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий»).

## Patterns of geographic genetic variability in trematodes of the genus *Microphallus*

### (Microphallidae, Digenea)

Sokolova A.<sup>1,2</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Galaktionov K.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

We studied the intraspecific genetic variability in three species of the genus *Microphallus*. All of them have some features related to their geographic origin and host identity. Additional data on *M. pseudopygmaeus* and *M. similis* would help to understand the trends better.

## ***Brachyphallus crenatus* и *Hemiurus levinseni* (Digenea, Hemiuridae) в морях Севера и Востока России**

Гублер А.Г.<sup>1\*</sup>, Кремнев Г.А.<sup>1,2</sup>, Скобкина О.А.<sup>1</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов  
Санкт-Петербург

\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

Большой интерес представляет изучение трансарктических миграций, поскольку они связаны с периодами изменений климатических условий. При этом историю расселения различных животных редко рассматривают в связке с их паразитами. В последнее время ведутся активные исследования по биогеографии арктического региона, однако данных по паразитическим организмам все еще мало. Трематоды — это крупная группа паразитических плоских червей со сложным жизненным циклом, включающим обычно последовательную смену двух или трех хозяев. Их партеногенетические поколения развиваются в моллюсках, в качестве второго промежуточного хозяина используются все основные таксоны животных, а взрослые особи гермафродитного поколения обитают в позвоночных. Наличие в жизненном цикле нескольких хозяев делает трематод интересным объектом для филогеографических исследований.

*Brachyphallus crenatus* и *Hemiurus levinseni* — это трематоды семейства Hemiuridae, использующие морских и проходных рыб в качестве окончательных хозяев. Они распространены по всему Северному полушарию, поэтому являются хорошими модельными объектами для изучения миграционных процессов. Широкий ареал может быть признаком того, что мы имеем дело с комплексами криптических видов, это делает объект изучения как более сложным, так и более интересным.

Цель этого исследования — предложить сценарий распространения видов *B. crenatus* и *H. levinseni* в морях севера и востока России. Для достижения этой цели мы поставили перед собой следующие задачи: используя молекулярно-генетические методы, уточнить видовой статус для *B. crenatus* и *H. levinseni*, исследовать внутривидовое генетическое разнообразие и реконструировать филогеографические связи популяций *B. crenatus* и *H. levinseni*.

Материал был собран в период с 2020 по 2023 год на Белом, Баренцевом, Печорском, Восточно-Сибирском, Охотском и Японском морях. На настоящий момент для десяти изолятов *B. crenatus* из всех перечисленных морей и для трех изолятов *H. levinseni* из Белого и Баренцева морей была выделена ДНК, проведена ПЦР и последующее секвенирование для фрагментов 28S рДНК и ITS2. Анализ последовательностей этих фрагментов пока не выявил изменчивости внутри *B. crenatus* и *H. levinseni*, что позволяет предполагать отсутствие в нашем материале криптических видов. В дальнейшем планируется включить в анализ больше образцов, чтобы изучить внутривидовое генетическое разнообразие с помощью переменных маркеров: фрагментов генов *cox1* и *nad1*.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-24-00376 и с использованием оборудования НП СПбГУ, ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

## ***Brachyphallus crenatus* and *Hemiurus levinseni* (Digenea, Hemiuridae) in the northern and eastern seas of Russia**

Gubler A.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>1,2</sup>, Skobkina O.<sup>1</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

*Brachyphallus crenatus* and *Hemiurus levinseni* are marine digeneans with circumpolar distribution, thereby they could be favourable models to study transarctic migrations. We showed through rDNA analysis that *B. crenatus* and *H. levinseni* are probably wide-distributed species, not species complexes. Further we plan to assess their intraspecific genetic structure by *cox1* and *nad1* genes sequencing.

## **Использование маркера ITS1 при создании серий типовых образцов для представителей семейства Polymorphidae (Acanthocephala: Palaecanthocephala)**

Унтилова А.А.<sup>1\*</sup>, Дюмина А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: nasta.untik@gmail.com

Современные исследования филогенетических отношений Metazoa зачастую опираются на молекулярно-генетические данные. При установлении филогенетического положения видов используются относительно вариабельные ядерный ген 28S рРНК и транскрибируемые спейсеры (ITS) (Littlewood, Johnston, 1995; Chow et al, 2009). Митохондриальные же гены (цитохром-оксидазы 1–3, NAD-Н-дегидрогеназа и др.) варьируют в пределах вида и используются при баркодинге популяций (Goodall-Copestake et al, 2012) либо включаются в филогенетические реконструкции по конкатенированным матрицам (Navird, Santos, 2014). Также молекулярные маркеры подходят для видовой идентификации типовых образцов в рамках таксономических ревизий, включающих поиск признаков, позволяющих составлять монофилетические таксоны.

Это актуально для скребней (García-Varela et al., 2005) — облигатных эндопаразитов позвоночных, использующих членистоногих как промежуточных хозяев (Петроченко, 1956). В особенности применение молекулярных маркеров важно при работе с семейством Polymorphidae, чьи представители характеризуются широким спектром окончательных хозяев и морфологических адаптаций к ним (Хохлова, 1986; Петроченко, 1958). Для полиморфид зафиксированы случаи создания серий типовых образцов, в которые были включены особи, относящиеся к разным видам (Nickol et al., 2002). Следовательно, необходимо включать в серии только ваучерные препараты для подтверждения видовой принадлежности типовых образцов. Длина гена 28S рРНК у полиморфид — 2779 п.н., потому он амплифицируется в виде четырех перекрывающихся фрагментов, что делает идентификацию типовых образцов с его помощью крайне затратной и трудоемкой. Митохондриальные маркеры слишком вариабельны для видовой идентификации. Поэтому в рамках данной работы мы рассматриваем маркер ITS1 как оптимальный.

Однако для него в ряде фаунистических работ были показаны различия между образцами, отнесенными к одному виду (Westram et al, 2011; Zittel et al, 2018). В других публикациях подобный полиморфизм по ITS1 не выявлен (Kralova-Hromadova et al., 2003). Следовательно, пригодность данного маркера для видовой идентификации необходимо тестировать отдельно для каждого исследуемого таксона. Такое тестирование мы провели для четырех видов массовых паразитов птиц Палеарктики — *Polymorphus phippsi*, *P. magnus*, *Profilicollis botulus* и *Filicollis anatis*. Амплификация проводилась с использованием оригинальных праймеров. Затем проводился сравнительный анализ внутривидовых и межвидовых филогенетических расстояний.

*Работа выполнена на базе Зоологического института РАН за счет средств гранта РФФИ № 23-14-00329.*

## **Using ITS1 for identification of type specimens of Polymorphidae species (Acanthocephala: Palaecanthocephala)**

Untilova A.<sup>1</sup>, Diumina A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists researches, Saint Petersburg

In this research we compared intraspecific and interspecific phylogenetic distances for ITS1 sequences received from Polymorphidae members (including original new sequences from four species). This way we plan to clarify, if ITS1 is applicable for identification of Polymorphidae species.