



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



Учебно-научная база  
«Беломорская»

# Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2025

Тезисы докладов

Санкт-Петербург  
2025

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*

*Е.А. Захарчук, д.г.н., профессор, заведующий кафедрой океанологии СПбГУ*

*М.В. Макаров, д.б.н., директор ММБИ РАН, ведущий научный сотрудник лабораторией альгологии*

*Г.М. Воскобойников, д.б.н., профессор, заведующий лабораторией альгологии ММБИ РАН*

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

*А.В. Родионов, д.б.н., заведующий лабораторией биосистематики и цитологии БИН РАН, главный научный сотрудник кафедры цитологии и гистологии СПбГУ*

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

*В.В. Старунов, к.б.н., заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник ЗИН РАН*

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

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

*Д.А. Аристов, к.б.н., научный сотрудник Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН*

*А.Г. Гончар, к.б.н., научный сотрудник лаборатории по изучению паразитических червей и протистов ЗИН РАН, старший преподаватель кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

*Г.А. Кремнев, к.б.н., научный сотрудник лаборатории по изучению паразитических червей и протистов ЗИН РАН*

*Е.К. Скалон, к.б.н., младший научный сотрудник лаборатории эволюционной геномики и палеогеномики ЗИН РАН*

*Н.В. Полякова, научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН*

*О.Н. Котенко, ассистент кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

*З.И. Старунова, младший научный сотрудник лаборатории эволюционной морфологии ЗИН РАН*

Корректоры:

*Л.О. Полюшкевич, инженер-исследователь кафедры эмбриологии СПбГУ*

*А.Д. Лянгузова, младший научный сотрудник кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ, младший научный сотрудник лаборатории по изучению паразитических червей и протистов ЗИН РАН*

**Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2025.** Тезисы докладов. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2025. — 98 с. ISBN

Сборник составлен из материалов докладов конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2025» (4–5 февраля 2025 года, Санкт-Петербург). Конференция проводится ежегодно и традиционно посвящена исследованиям, связанным с Арктическим регионом. Она служит площадкой, где молодые ученые в дружелюбной атмосфере могут представить и обсудить результаты своих исследований. Программа конференции включает доклады приглашенных ученых, а также устные и постерные доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, сгруппированные в шесть секций: (1) ботаника; (2) океанология, почвоведение; (3) экология; (4) паразитология; (5) биология развития; (6) зоология.

Конференция проходила при поддержке кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ, лаборатории гидробиологии Центра морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, ООО «Диаэм», ООО «Вермес» и Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей.



Санкт-Петербургское  
общество  
естествоиспытателей



## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ.....8

ЛОСКУТОВ И.Г.

Деятельность Н.И. Вавилова и ВИР им. Н.И. Вавилова для развития северных территорий Российской Федерации..... 8

СМАГИН Р.Е., ПЕТРОСЯН Н.В.

Жизнь океанолога: от Африки до Арктики ..... 9

НЕРЕТИНА Т.В., ЕЖОВА М.А., БЕЗМЕНОВА А.В., НЕРЕТИН Н.Ю., ФЕДОРОВ Д.А., КНОРРЕ Д.А.

Митохондриальные геномы беспозвоночных: загадки и открытия ..... 10

КРЕМНЕВ Г.А.

Узнать все о трематодах Белого моря: миссия выполнима? ..... 11

КУЗЬМИНА Т.В.

Структурная и функциональная связь циркуляторных систем брахиоподы *Hemithiris psittacea* ..... 12

### ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ.....13

#### БОТАНИКА

КИРКИНА М.П., СОНИНА А.В.

Видовое разнообразие эпилитных лишайников на территории Петрозаводского городского округа ..... 13

БЕЛЯЕВА Т.А., ТУРОК С.М., АНДРОСОВА В.И., СОНИНА А.В.

Эколого-субстратный анализ лишайников растительных сообществ Мунозерского края (Республика Карелия) ..... 14

КЕМПИ О.В., АНДРОСОВА В.И., БЕЛЯЕВА Т.А.

Эпифитные лишайники тундровых сообществ горы Кивакка (Национальный парк «Паанаярви», Республика Карелия) ..... 15

ДРОГУНОВА Д.И., СТАРОДУБЦЕВА А.А.

Характеристика ценопопуляции *Cyripedium calceolus* L. в национальном парке «Паанаярви»..... 16

DOMASHKINA V.V., ZHURBENKO P.M., LEOSTRIN A.V., GUSSAROVA G.L., RODIONOV A.V.

First molecular insight into hybridization in *Carex* sect. *Ceratocystis* Dumort. from North-West Russia..... 17

МИХАЙЛОВ А.А., ЛОСКУТОВ И.Г.

Результаты фенотипирования рекомбинантных дигаплоидных линий ярового ячменя в условиях Полярной опытной станции ВИР ..... 18

ЗАМЯТКИНА Е.Б., ЯНЬШИН Н.А., ТАРАХОВСКАЯ Е.Р.

Распределение разных групп углеводных метаболитов по таллону красной водоросли *Furcellaria lumbricalis* .... 19

ЯНЬШИН Н.А., ЗАМЯТКИНА Е.Б., ТАРАХОВСКАЯ Е.Р.

Влияние меди на биохимический состав арктических красных водорослей *Vertebrata fucoides* (Ceramiales) и *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales)..... 20

ГУДОВСКИХ А.А., ФРЕЙДИН Г.Л.

Эпифитные микрогруппировки сосны на Карельском перешейке ..... 21

КОТЛЯРЧУК Е.А.

Фитоценологическое разнообразие растительности в экотоне тайга-тундра ..... 22

НЕМЧИНОВ В.М., ГАВРИЛОВА Е.О., ХАЙТОВ В.М.

Особенности распространения близкородственных видов сосен *Pinus friesiana* и *P. × subfriesiana* в лесных сообществах о. Ряжков (Кандалакшский залив Белого моря, Северный архипелаг) ..... 23

КУЗЬМИНА И.А., ПАУКОВ А.Г., КОНОРЕВА Л.А., ЧЕШОКОВ С.В.

Лишайники семейства Megastrogasaceae архипелага Шпицберген ..... 24

## ОКЕАНОЛОГИЯ и ПОЧВОВЕДЕНИЕ

АРТЮХОВ Е.А.

Морфологическое разнообразие почв севера Западной Сибири ..... 25

МАКСИМОВСКАЯ Т.М., ЗИМИН А.В.

Изменчивость характеристик Полярной фронтальной зоны в северо-западной части Баренцева моря по данным контактных наблюдений в условиях сокращения ледового покрова ..... 26

KUSHNOV I., TEMBOTOV R.

Features of trace elements pollution of glacial cryoconites and soils of alpine gorges of the Republic of North Ossetia-Alania under different recreational load conditions ..... 27

НАКОНЕЧНАЯ А.С., ДУБИНИНА Е.О., КОССОВА С.А.

Растворенный неорганический углерод ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ , [DIC]) в желобе Святой Анны (Карское море) ..... 28

ПРОЩАКОВА В.А., ФРОЛОВА Н.С., БОГДАН Е.В., ДИМИТРИЕВА П.О., ВАРЕНЦОВ М.И.

Моделирование развития прибрежных территорий как основа комплексного управления прибрежными зонами на примере города Архангельска ..... 29

ЧАУСОВА Е.Е., УПОРОВА М.А., АРБУЗОВА Е.А., САМОХИНА Н.П., ФИЛИМОНЕНКО Е.А.

Пирогенная трансформация почвенного органического углерода (на примере лесотундры Западной Сибири) .... 30

## ЭКОЛОГИЯ

ЛИПКИНА А.Е., ЯКОВЛЕВ Е.Ю.

Оценка радиоэкологической обстановки островных территорий Западного сектора Российской Арктики ..... 31

ГАЛУШКА В.В., АФИНОГЕНОВА А.Г.

Видовая характеристика культивируемых аэробных бактерий приливно-отливной зоны Зеленецкой губы Баренцева моря ..... 32

КЛЕЙЗЕР А.А., ЛАВРЕНТЬЕВ П.Я.

Пространственное и вертикальное распределение микрозоопланктона в период летней стратификации в Белом море ..... 33

ВЕРЖБИЦКИЙ В.В., ЧАВА А.И.

Сезонная динамика в сообществе обрастания на взаимосвязанных субстратах в верхней сублитерали Белого моря ..... 34

РОСИНСКАЯ А.Е.

Сравнительный анализ улавливающей способности дночерпателя Ван-Вина и хапс-корера в количественных исследованиях мейобентосных организмов ..... 35

БАБИН М.А., ТИМОФЕЕВА М.А., СТОДОЛЬСКАЯ А.Н., ФИЛИППОВА Н.А.

Стабильность структуры литоральных сообществ Белого моря: пространственно-временной аспект ..... 36

БРИТИКОВ А.И., ХАЙТОВ В.М.

Разделение каких экологических ниш *Littorina saxatilis* и *Littorina obtusata* мы наблюдаем на литерали Белого моря? ..... 37

ЗЕНКОВ Е.А., СЕМЕНОВА Е.В.

Пространственное распределение метацеркарий семейства Notocotylidae на беломорской литерали в поселениях промежуточных хозяев — улиток-гидробийд ..... 38

ПЕСОЧИНСКИЙ М.А., ПОЛОСКИН А.В.

Особенности распределения *Urustoma suprinae* в литоральных поселениях мидий в вершине Кандалакшского залива Белого моря ..... 39

СИДОРСКАЯ П.О., ГЕРАСИМОВА А.В.

Межгодовая вариабельность скорости роста двустворчатых моллюсков *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) в Белом море как отражение изменений условий окружающей среды ..... 40

ЕРШОВА Т.А., ХАЙТОВ В.М.

Что заставляет беломорских мидий заползать на фукоиды? ..... 41

БЕЛЯЕВА О.И., ХАЙТОВ В.М. Совместная жизнь двух видов беломорских мидий делает их более уязвимыми для хищников .....	42
ГЕРАСИМОВА М.А., ХАЙТОВ В.М. Физиологические реакции мидий <i>Mytilus edulis</i> и <i>M. trossulus</i> в градиенте ключевых факторов среды .....	43
МАНЫЛОВА Я.А., АРИСТОВ Д.А. Распределение следов питания хищных гастропод на раковинах двух видов рода <i>Macoma</i> (Lamellibranchia) .....	44
ЕГОРОВ В.А., АРИСТОВ Д.А. Особенности поведения усонюгих рачков <i>Semibalanus balanoides</i> в Кандалакшском заливе Белого моря после длительной осушки в различных условиях .....	45
МАРТЫНОВА А.С. К исследованию промысловых стад кеты <i>Oncorhynchus keta</i> при помощи техники отолитного маркирования.....	46
КАСЬКОВА К.А., ЗАЙНАГУТДИНОВА Э.М. Повторяемость миграционных остановок у белолобых гусей ( <i>Anser albifrons</i> ): предварительные результаты анализа GPS-треков.....	47
ЦУКАНОВА К.Н., ИВАНОВ М.В., ПОЛЯКОВА Н.В. Летний зоопланктон полуизолированных водоемов Белого моря .....	48
УСИПБЕКОВА Я.Г., ЗЕЛЕННИКОВ О.В., ГЕРАСИМОВА А.В., МАРЧЕНКО Ю.Т. О различиях в гаметогенезе мидий <i>Mytilus edulis</i> L. и <i>Mytilus trossulus</i> Gould в летний период (Керетский архипелаг, Белое море).....	49
БАШИЛОВ К.В., ХАЙТОВ В.М. Постгляциальная палеосукцессия локального сообщества бентоса в Белом море.....	50
ВОЛКОВА М.Д., ЛЕЗИН П.А., ЛАВРЕНТЬЕВ П.Я. Скорость фильтрации и створочная активность <i>Arctica islandica</i> (Linnaeus, 1767) в губе Чупа Белого моря.....	51
КИРИЛЛОВА С.А., БЕСПЯТЫХ А.В., ЕВТЮГИН В.Г., ЗЕЛЕЕВ Р.М. Эколого-биологическая характеристика <i>Arctica islandica</i> (L.1767) (Bivalvia: Arctidae) губы Чупа Белого моря.	52
<b>ПАРАЗИТОЛОГИЯ</b>	
ФРОЛОВА Е.В., РАЙКО М.П., ПАСКЕРОВА Г.Г, СМИРНОВ А.В., НАСОНОВА Е.С. Разнообразие мечниковеллид (Opisthokonta: Microsporidia) в Белом и Баренцевом морях.....	53
БЕЛОЛЮБСКАЯ К.И., САВЧЕНКО А.С., КРЕМНЕВ Г.А., СКОБКИНА О.А., КРУПЕНКО Д.Ю. Эндосимбиотические турбеллярии брюхоногих моллюсков Белого и Баренцева морей.....	54
САМОЙЛОВА Е.В., СМИРНОВ П.А., КРУПЕНКО Д.Ю., КРЕМНЕВ Г.А., ФЕДОРОВ Д.Д. Методические подходы к изучению поведения мирацидиев <i>Zoogonoides viviparus</i> (Trematoda: Zoogonidae) .....	55
РАППОПОРТ А.В. Реконструкция нервной системы <i>Orthonectida</i> .....	56
ПЕТРУНЯК А.М., ЛЯНГУЗОВА А.Д., КРУПЕНКО Д.Ю., ПОЛЮШКЕВИЧ Л.О., АРБУЗОВА Н.А., ЛАСКОВА Е.П., МИРОЛЮБОВ А.А. Исследование скрытого биоразнообразия <i>Peltogasterella gracilis</i> (Cirripedia: Rhizocephala) .....	57
УНТИЛОВА А.А., ДЮМИНА А.В. Анализ популяционно-генетической структуры скребней <i>Profilicollis botulus</i> (Acanthocephala: Polymorphidae) на севере Палеарктики .....	58
ПРИЛУЦКИЙ М.Е., ШАПОВАЛ Г.Н., ШАПОВАЛ Н.А., ПАСКЕРОВА Г.Г. Разнообразие динофлагеллят рода <i>Harplazon</i> . Анализ паразитологической коллекции В.А. Догеля.....	59
LOGVINENKO A.D., GORDEEV I.I., BISEROVA N.M. The first record of <i>Rockacestus piriei</i> (Cestoda: Phyllobothriidea) in the White Sea.....	60
СОКОЛОВА А.И., ГОНЧАР А.Г., ГУБЛЕР А.Г., КРЕМНЕВ Г.А., КРУПЕНКО Д.Ю., СКОБКИНА О.А. Видовое и внутривидовое разнообразие трематод рода <i>Podocotyle</i> (Opencolidae, Digenea) в северной Палеарктике .....	61

ГУБЛЕР А.Г., КРЕМНЕВ Г.А., СКОБКИНА О.А., ГОНЧАР А.Г., КРУПЕНКО Д.Ю. Биогеография <i>Hemiurus levinseni</i> (Digenea, Hemiuridae) .....	62
ФЕДОРОВ Д.Д., ЛЕВАКИН И.А., НИКОЛАЕВ К.Е., АРИСТОВ Д.А., ГАЛАКТИОНОВ К.В. Сезон или температура: что обуславливает эмиссию церкарий трематод в Белом море? .....	63
ГАБДРАХМАНОВА М.С., СОЛОВЬЕВА А.И. Связанные с транспозонами длинные некодирующие РНК в транскриптом трематоды <i>Himasthla elongata</i> .....	64
ЕНЬШИНА И.К., САВЧЕНКО А.С. Организация яйцевой трубки эндопаразитической копеподы <i>Nucellicola</i> sp. (Copepoda: Chitonophilidae) .....	65
ШАПАКО К.С., КАЗАНСКАЯ Р.Б., ЛОПАЧЕВ А.В., АБАИМОВ Д.А., КОЧЕРГИНА Н.А., ЛАРИОНОВА А.А., ГРАНОВИЧ А.И., РЕПКИН Е.А. Воздействие заражения микрофаллидными трематодами (Digenea, Microphallidae) на содержание нейромедиаторов в тканях моллюсков-литторин (Gastropoda, Littorinidae) .....	66
<b>БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ</b>	
КАЙРОВ А.И., КОЗИН В.В. Участие канонического Wnt/ $\beta$ -катенинового сигналинга в паттернировании зародышей аннелид с разными типами дробления и гастрюляции .....	67
АНДРОНОВА Е.И., КРАУС Ю.А. Хетогенез в эмбриональном развитии аннелиды <i>Galathowenia oculata</i> .....	68
SHALAEVA A., BELYAEVA M., KOZIN V. Neurohumoral control of proliferation in the process of posterior regeneration in <i>Alitta virens</i> .....	69
КОТЕНКО А.И., КОСТЮЧЕНКО Р.Р. Modification and regrowth of the nervous system during regeneration and asexual reproduction in the annelid <i>Nais communis</i> .....	70
СЛИПОМОРЫЙ А.М., НОВИКОВА Е.Л., СТАРУНОВА З.И., ШУНЬКИНА К.В., СТАРУНОВ В.В. Влияние ингибиторов и активаторов Wnt-сигналинга на процесс регенерации <i>Rugospio elegans</i> (Annelida, Spionidae) .....	71
МАТВЕИЧЕВА Е.П., КУЛАКОВА М.А., ПОЛЮШКЕВИЧ Л.О., ИВАШКИН Е.Г., ВОРОНЕЖСКАЯ Е.Е. Сигнальный путь Hedgehog в развитии <i>Dimorphilus gyrociliatus</i> .....	72
КУЗЬМИНА Е.С. Гаметогенез симы <i>Oncorhynchus masou</i> в условиях заводского воспроизводства в Сахалинской области .....	73
НАДТОЧИЙ Е.В., СМИРНОВА К.А., КОНДАКОВА Е.А. Новые данные по эмбриональному и личиночному развитию трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> L. ....	74
<b>ЗООЛОГИЯ</b>	
КУЛИШКИН Н.С. Филогения амёб отряда Leptomyxida (Amoebozoa, Tubulinea) по последовательности участка гена <i>cox1</i> .....	75
DOMRACHEVA M., SALOVA I., KHABIBULINA V. Puzzling systematics within <i>Haliclystus</i> (Cnidaria: Staurozoa).....	76
КОНСТАНТИНОВА Ю.И., КОСЕВИЧ И.А., НЕРЕТИНА Т.В., ТЕМЕРЕВА Е.Н. Видовое разнообразие беломорских плоских червей из рода <i>Monocelis</i> (Platyhelminthes, Proseriata).....	77
СЫРОВАТСКАЯ Я.В., КРОЛЕНКО В.И., МАНУХОВ И.В. Поиск и определение видовой принадлежности представителей рода <i>Terebellides</i> в Карском море и море Лаптевых .....	78
АЛЕКСАНДРОВА П.Н., ХАЙТОВ В.М., СТРЕЛКОВ П.П. Анализ гибридизации между <i>Mytilus trossulus</i> и <i>M. galloprovincialis</i> в Японском море .....	79

<i>ЕВНУКОВА Е.А., ЗАЙЦЕВА О.В.</i> Нейрогистологическое и иммуногистохимическое исследование регуляторной системы пищеварительного тракта беломорских гастропод .....	80
<i>ЦВЕТКОВА А.Ю.</i> «100 лет спустя»: тихоходки с Земли Франца-Иосифа – новые данные и предварительные результаты .....	81
<i>ДМИТРОВСКАЯ С.В., ПОЛУЗЕРОВ С.А.</i> Центрохелидные солнечники (Haptista: Centroplasthelida) Арктического региона .....	82
<i>ЧИКАДЗЕ Е.Д., МЕЗЕНЦЕВ Е.С., КАМЫШАЦКАЯ О.Г., КОЛОМЫТЦЕВА А.К.</i> Ультраструктурные данные нового вида рода <i>Dermatoeoba</i> (Amoebozoa: Discosea) .....	83
<i>ШКЛЯР А.А., НАСОНОВА Е.С.</i> Новый представитель рода <i>Nucleophaga</i> (Holomycota), внутриядерных паразитов протистов .....	84
<i>СОГОМОНЯН К. С., ДОМРАЧЕВА М.М., ХАБИБУЛИНА В.Р.</i> Есть ли жизнь на ставромедузе? .....	85
<i>ВАСИЛЬЕВА И.А., ДИКТОВНАЯ М.В., ШАРЛАИМОВА Н.С., ПЕТУХОВА О.А.</i> Выявление актин-связывающих белков альфа актинина 1 и 4 в клетках разных тканей морской звезды <i>Asterias rubens</i> .....	86
<i>КОБЕЛЕЦКАЯ М.А., ТЕМЕРЕВА Е.Н.</i> Особенности организации пищеварительной системы <i>Styela clava</i> Herdman (Ascidiacea) .....	87
<i>РОМАНОВА А.С., КОТЕНКО О.Н.</i> Строение кишки и адаптации к матротрофному питанию на ранних этапах развития мшанки <i>Flustrellidra hispida</i> (Bryozoa: Gymnolaemata) .....	88
<i>АГУНОВИЧ К.К., ВОРЦЕПНЕВА Е.В.</i> Сравнительный анализ строения хобота <i>Admete</i> cf. <i>viridula</i> (Gastropoda: Neogastropoda) с предположением о типе питания .....	89
<i>БЕЛОКОНЬ Е.В., СУЧИЛКИН М.А., ПОЛОСКИН А.В.</i> Разнообразие окраски передней части моллюсков <i>Peringia ulvae</i> и <i>Ecrobia ventrosa</i> в вершине Кандалакшского залива Белого моря .....	90
<i>КОРОЛЕВА А.С., КОЛБАСОВА Г.Д., НЕРЕТИНА Т.В., ЦЕТЛИН А.Б.</i> Новый вид прогенетических аннелид из Белого моря (Dorvilleidae, Annelida) .....	91
<i>БАРМАСОВА Г.А., СТАРУНОВА З.И., ШУНЬКИНА К.В., СТАРУНОВ В.В.</i> Тайная жизнь <i>Arenicola marina</i> . Как у нас не получилось поставить цикл развития и найти личиночные стадии пескожила. ....	92
<i>КОЗЛОВА А.М., КОСТЫГИНА А.М., СТАРУНОВА З.И., ЧАВА А.И., ШУНЬКИНА К.В., СТАРУНОВ В.В.</i> Релаксация аннелид: искусство расслабления под действием химических агентов .....	93
<i>КОЧЕРГИНА Н.А., ТУМАНОВ Д.В.</i> Ультраструктура кутикулы тихоходок <i>Testechiniscus</i> sp. в контексте филогенетических отношений в пределах семейства Echiniscidae .....	94
<i>МИРОШ А.С., ЗАБОТИН Я.И.</i> Видовое разнообразие наземных тихоходок островов Керетского архипелага Белого моря .....	95
<i>СЫЧЕВСКАЯ П.К., ЗАБОТИН Я.И., ЕВТЮГИН В.Г.</i> Ультраструктурная организация тихоходки <i>Ramazottius subanomalous</i> .....	96
<i>ЗАЙЦЕВА Я.В., ЕВТЮГИН В.Г., ЗАБОТИН Я.И.</i> Ультраструктура сперматозоидов немертины <i>Tetrastemma candidum</i> Белого моря .....	97
<i>ХАМЛЮК С.И., ЗАБОТИН Я.И., ЕВТЮГИН В.Г.</i> Ультраструктура сперматозоидов турбеллярии <i>Pseudograffilla arenicola</i> .....	98

## *ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ*

### **Деятельность Н.И. Вавилова и ВИР им. Н.И. Вавилова для развития северных территорий Российской Федерации**

*Лоскутов И.Г.*

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), отдел генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Санкт-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра агрохимии, Санкт-Петербург  
e-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) в 2024 г. отмечал свое 130-летие. Деятельность института с начала XX века всегда была связана со сбором, изучением коллекций культурных растений и их использованием в растениеводческой и селекционной практике. С приходом в 1920 г. Н.И. Вавилова к руководству институтом все направления деятельности были систематизированы, усилены и поставлены на более высокий уровень. Он организует знаменитые экспедиционные обследования на пяти континентах мира, значительно расширяет сеть опытных станций и опорных пунктов для изучения собранного материала, и готовит основу для его использования в селекционной практике. Основная цель всех этих исследований направлена на выведение и внедрение новых продуктивных сортов сельскохозяйственных культур. Большое место в работе Н.И. Вавилова в растениеводческом плане занимает разработка хозяйственного освоения крайних северных территорий СССР. С этой целью как в научном, так и в практическом плане, в 1922 г. было открыто Северо-Двинское отделение ВИР, а в 1923 г. организована Полярная опытная станция ВИР. Последняя координировала интродукцию новых видов и сортов растений для районов за полярным кругом, а также разрабатывала методы агротехники для этих экстремальных районов. В этой связи Н.И. Вавилова очень интересовал международный опыт северного земледелия, в частности Аляски, Канады, Исландии, Гренландии и Скандинавских стран. В своей работе «Проблема северного земледелия» в 1931 г. Н.И. Вавилов писал, что в своем историческом развитии мировое земледелие движется к северу и в тропики, отнимая все большие и большие пространства у леса. И в том, и в другом направлении перед земледельцем открыт необъятный простор неосвоенных, неиспользованных земель. Сельское хозяйство на Крайнем Севере представлялось ученому в будущем интенсивной формой земледелия, с широким применением удобрений, дренажа, механизации и электрической энергии.

Для изучения и практического внедрения лучших сортов различных сельскохозяйственных культур в условия Крайнего Севера институт в 1980-е годы организует Зейскую оп. ст. ВИР (зона БАМ), с 2023 г. в систему ВИР вошли четыре учреждения: Мурманская ГСХОС — филиал ВИР, Магаданский НИИСХ — филиал ВИР, Камчатский НИИСХ — филиал ВИР, Сахалинский НИИСХ — филиал ВИР.

Таким образом, ВИР им. Н.И. Вавилова в настоящее время расширяет свои исследования и вносит в сельскохозяйственное производство Крайнего Севера свой посильный вклад.

### **Activities of N.I. Vavilov and N.I. Vavilov Institute for the development of the northern territories of the Russian Federation**

*Loskutov I.*

Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Department of Genetic Resources of Oats, Rye, Barley, Saint Petersburg  
Saint Petersburg State University, Department of Agrochemistry, Saint Petersburg  
e-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

A major place in the activities of the Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) and N.I. Vavilov in terms of plant production is occupied by the development of economic development of the extreme northern territories of our country. Currently, N.I. Vavilov Institute (VIR) is expanding its research and making its feasible contribution to agricultural production in the Far North.

## **Жизнь океанолога: от Африки до Арктики**

*Смагин Р.Е., Петросян Н.В.\**

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

\* e-mail: natpetspbsu@yandex.ru

В 2025 г. исполняется 80 лет кафедре океанологии СПбГУ, первой кафедре океанологии в системе университетского образования нашей страны. Опыт Великой Отечественной войны и восстановление народного хозяйства страны потребовали развития исследований по освоению природных ресурсов и изучению Мирового океана. История кафедры — это прежде всего люди, преподаватели и студенты. Здесь всегда трудились яркие и талантливые преподаватели, призвание которых — передать молодому поколению свой богатый опыт и навыки, в нашем случае — обучить студентов-океанологов морской практике. В этом деле яркий след на кафедре океанологии оставил Валериан Вениаминович Казарьян.

В.В. Казарьян родился в 1936 г. в г. Краснодаре, ребенком пережил гитлеровскую оккупацию. В 1964 г. он окончил кафедру океанологии ЛГУ и был приглашен в преподавательский состав. Ему доверили решение важнейшего вопроса — организацию и проведение кафедральных практик студентов, и этим делом он занимался многие годы. Деятельность на кафедре Валериана Вениаминовича во многом уникальна: он был в кругосветном плавании, в ходе которого ему довелось лично познакомиться со своим кумиром — знаменитым океанологом Жаком-Ивом Кусто. В 1975–1978 гг. в рамках оказания помощи развивающимся странам доцент В.В. Клепиков и ассистент В.В. Казарьян работали в Африке: при их содействии в Республике Гвинея была создана кафедра океанологического профиля, где стали готовить мореведов.

Вторая половина XX века — время могущества отечественных флотов, и все студенты-океанологи уже в ходе обучения получали учебную практику в экспедиционных рейсах в самых разных уголках Мирового океана. Но распад СССР резко изменил ситуацию. Практику пришлось проводить не на морских судах, а на прибрежных базах. Кафедра океанологии опробовала разные места, например, Черноморское побережье Кавказа. Опыт оказался неудачным — там не оказалось многообразия океанических условий для обучения студентов. Но в начале 90-х сотрудники факультета географии и геоэкологии совершенно случайно приехали на Белое море, на МБС СПбГУ. Это место заинтересовало океанологов и летом 1993 г. В.В. Казарьян привез первую студенческую группу на Белое море. Становление филиала кафедры океанологии на о. Средний было непростым, но беломорская практика оказалась отличным подспорьем при обучении студентов. Несколько сезонов закрепили позиции океанологов на Белом море, а его ученики успешно продолжают начатое им дело. В память о Валериане Вениаминовиче Казарьяне факультетский Ученый совет предложил назвать географический объект его именем — таким местом является оконечность о. Средний (на стыке проливов Средняя и Узкая Салма) — мыс Казарьяна.

## **Oceanographer's Life: from Africa to Arctica**

*Smagin R., Petrosyan N.\**

Saint Petersburg State University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: natpetspbsu@yandex.ru

Valerian Kazaryan was a good teacher at the Department of Oceanography. He was involved in organizing maritime training practice. In 1975–1978, Kazaryan also worked in the Republic of Guinea, where with his help the oceanography department was created. In the 1990s, Kazaryan organized the oceanographer's practice on the White Sea.

## Митохондриальные геномы беспозвоночных: загадки и открытия

*Неретина Т.В.<sup>1\*</sup>, Ежова М.А.<sup>1</sup>, Безменова А.В.<sup>1</sup>, Неретин Н.Ю.<sup>1</sup>, Федоров Д.А.<sup>2</sup>, Кнорре Д.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова

<sup>2</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва

<sup>3</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им.

А.Н. Белозерского, Москва

\* e-mail: nertata@wsbs-msu.ru

Последовательности митохондриальных генов очень важны для описания новых таксонов эукариот, на информацию об этих последовательностях опираются при построении моделей в популяционной генетике и экологии. В частности, последовательности фрагмента гена CO1 используются для генетического баркодинга («ДНК-штрихкодирования») животных. Особенности наследования мтДНК могут оказывать сильное влияние на интерпретацию данных о митохондриальных последовательностях. Секвенирование митохондриальных геномов некоторых аннелид и представителей базальной группы двустворчатых моллюсков — протобранхий — привело нас к неожиданным результатам. Ранее считалось, что стандартный геном митохондрий в клетках животных представлен кольцевой молекулой длиной около 16 тыс п.о. и содержит 37 генов — 13 кодируют белки, 22 — гены тРНК, 2 — рРНК. Митохондриальный геном не содержит некодирующих последовательностей. Его белок-кодирующие гены не содержат интронов. На этом, собственно, основан был выбор фрагмента митохондриального гена CO1 в качестве баркода. МтДНК передается по материнской линии. Однако в настоящее время известно, что мтДНК многих представителей аннелид, моллюсков и ракообразных содержит дополнительные открытые рамки считывания (ORFan) и некодирующие участки. Нами было показано наличие таких ORFan у представителей семейства Spiroidea. Для ряда двустворчатых моллюсков известно двойное монородительское наследование мтДНК — отцовская мтДНК передается по отцовской, а материнская — по материнской линии. Для изучения этого явления были выбраны представители самой базальной группы двустворчатых моллюсков — первичножаберные (*Bivalvia*, *Protobranchia*), *Yoldia hyperborea* и *Nuculana pernula*. Показано, что митохондриальные геномы самца и самки *Nuculana pernula* не имеют значимых отличий. Для *Y. hyperborea* показано: (1) отбор, действующий на мужской геном, релаксирован; (2) в обоих организмах (самцах и самках) содержится небольшое количество мтДНК противоположного пола в состоянии гетероплазмии, при этом оба эти варианта экспрессируются; (3) в мужском митохондриальном геноме содержится участок лишенный стоп-кодонов (ORFan). Нам удалось показать, что этот участок произошел от стандартного белок-кодирующего гена митохондрий *NAD2*, причем этот ORFan экспрессируется. Данные результаты иллюстрируют процессы, происходящие на ранних этапах дивергенции мужских и женских мтДНК в базальных двустворчатых моллюсках: дубликации генов и ускоренную эволюцию.

Секвенирование полных или частичных митохондриальных геномов позволяет во многих случаях исследовать структуру популяций или состав семей. Так, просеквенировав 64 митохондриальных генома представителей бокоплавов *Dyopodos bispinis*, нам удалось показать наличие неродственной кооперации, редко встречающейся в живой природе.

## Mitochondrial genomes of invertebrates: mysteries and discoveries

*Neretina T.<sup>1\*</sup>, Ezhova M.<sup>1</sup>, Bezmenova A.<sup>1</sup>, Neretin N.<sup>1</sup>, Fedorov D.<sup>2</sup>, Knorre D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, N.A. Pertsov White Sea Biological Station

<sup>2</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow

<sup>3</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Research Institute of Physical and Chemical Biology named after A.N.

Belozersky, Moscow

\* e-mail: nertata@wsbs-msu.ru

The set of mitochondrial genes is quite conservative in animal cells. The chromosomal structure of the mitochondrial genome, the mechanism of mtDNA inheritance and the rate of their evolution sometimes vary greatly even within taxonomic groups of low rank. Sequencing mitochondrial genomes allows us to find many new things about their structure and inheritance characteristics.

## **Узнать все о трематодах Белого моря: миссия выполнима?**

*Кремнев Г.А.*

Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург  
e-mail: ekremnyov@yandex.ru

Трематоды являются самой крупной группой паразитических плоских червей (Neodermata). В обозримом будущем едва ли получится полностью охарактеризовать их разнообразие и расшифровать сложный жизненный цикл для каждого из видов, однако в масштабах отдельно взятого водоема достижение такой цели может оказаться вполне реалистичным. Хорошими кандидатами на эту роль являются два моря западного сектора Арктики: Баренцево и Белое. С одной стороны, биоразнообразие в арктических экосистемах относительно невелико, что ограничивает круг потенциальных окончательных и промежуточных хозяев трематод. С другой стороны, на протяжении более чем 100 лет, начиная с И.М. Исайчикова, баренцевоморских и беломорских трематод всесторонне исследовали многие выдающиеся отечественные паразитологи.

Одним из итогов интенсивного изучения трематод Белого моря стала ревизия их фауны, в составе которой на сегодняшний день насчитывается 61 вид, окончательными хозяевами которых являются рыбы, птицы и млекопитающие. Более того, для 46 видов беломорских трематод жизненный цикл был полностью расшифрован, а еще для десяти видов обнаружен первый промежуточный хозяин. В значительной степени этот прогресс был обусловлен внедрением молекулярно-генетических методов, а также широким распространением интегративного подхода в таксономических исследованиях. Однако тематика проводимых в Белом море работ также охватывает изучение экологии и тонких деталей строения трематод. Все это позволяет считать Белое море одной из самых изученных морских акваторий в мире с точки зрения полноты знания фауны трематод, их жизненных циклов, морфологии партенит и личинок, сезонной динамики группировок внутри первого промежуточного хозяина, особенностей эмиссии церкарий и т.д.

В своем докладе я собираюсь рассказать о нашем прогрессе в изучении беломорских трематод на примере семейства Derogenidae, паразитов морских рыб. Как от расшифровки их жизненных циклов мы пришли к изучению их скрытого разнообразия и встали перед необходимостью исследования генетической изменчивости в широком географическом масштабе? Какие критерии могут быть использованы для разграничения видов трематод, и что ограничивает их ареал? Какие уникальные морфологические особенности характерны для цистофорных церкарий и пассивных мирацидиев дерогенид? Освещению этих и других вопросов будет посвящено мое выступление.

## **To know everything about the White Sea digeneans, mission possible?**

*Kremnev G.*

Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg  
e-mail: ekremnyov@yandex.ru

After more than a century of intense research, the White Sea became one of the most studied water bodies in the world in terms of knowledge on fauna, life cycles, ecology, and morphology of the Digenea. I will discuss our progress using the family Derogenidae as an example.

## **Структурная и функциональная связь циркуляторных систем брахиоподы *Hemithiris psittacea***

*Кузьмина Т.В.*

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва  
e-mail: kuzmina-t@yandex.ru

Брахиоподы — тип морских беспозвоночных животных, тело которых заключено в двустворчатую раковину. Они ведут малоподвижный образ жизни и, как правило, прикреплены к субстрату, используя щупальцевый орган — лофофор — для фильтрации пищевых частиц. Брахиоподы имеют сложноорганизованную целомическую систему, замкнутую кровеносную систему и метанефридии. В данной работе рассмотрены аспекты функциональной морфологии циркуляторных и выделительной систем беломорской брахиоподы *Hemithiris psittacea*.

Несмотря на наличие наружного скелета у брахиопод, в отличие от моллюсков, сохранился обширный целом, поскольку он выполняет функцию гидростатической поддержки лофофора и участвует в открывании створок раковины у лингулиформных и кранииформных брахиопод.

Кровеносная система *H. psittacea* представлена длинным разветвленным дорсальным сосудом, слепозамкнутым на переднем и заднем концах. Основное сердце является выростом дорсального сосуда и разделяет его на переднюю и заднюю части. Передний сосуд снабжает кровью лофофор и проходит внутри перизофагельного целома и малых целомических каналов лофофора. Задний дорсальный сосуд тянется внутри мезентериев туловищного целома и заходит в мантийные целомические каналы, где снабжает кровью гонады. Помимо основного сердца на заднем дорсальном сосуде распределены дополнительные сердца. Основное и дополнительные сердца имеют ампулярное строение, что позволяет им функционировать как депо крови и обеспечивает колебательное движение крови в кровеносной системе. Функциональные эксперименты показали, что во время систолы основного сердца кровь сначала преимущественно поступает в передний сосуд, затем в задний сосуд; во время диастолы основного сердца, сопровождаемой сокращением дополнительных сердец, кровь возвращается в основное сердце.

В стенках основного и дополнительных сердец описаны подоцитоподобные клетки. Предполагается, что через базальную пластинку между отростками этих клеток происходит ультрафильтрация жидкости из кровеносного русла в полость туловищного целома. Ампулярное строение сердец и удлиненная диастола основного сердца способствуют процессу ультрафильтрации. До настоящего времени ставилась под сомнение функциональная роль метанефридиев брахиопод в процессе выделения, предполагалось, что короткие трубки метанефридиев выполняют лишь роль гонодуктов. Наши новые данные показали, что метанефридии содержат сильно изогнутый ресничный канал, который окружен кровеносным плексусом. Кроме того, клетки эпителия трубки метанефридия имеют признаки пиноцитозной активности и содержат электронно-плотные включения.

Таким образом, подтверждена взаимосвязь целомической, кровеносной и метанефридиальной выделительной систем брахиопод, сходная с другими целомическими животными. Ампулярный тип строения основного сердца и его локализация в основании переднего сосуда представляют собой адаптацию к функционированию сложной сети кровеносных сосудов протяженного лофофора брахиопод.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ № 23-14-00020.*

## **The Structural and Functional Connection of Circulatory Systems in the Brachiopod *Hemithiris psittacea***

*Kuzmina T.*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow  
e-mail: kuzmina-t@yandex.ru

A morpho-functional analysis of the circulatory systems of brachiopod *Hemithiris psittacea* was conducted. The blood system contains ampullar hearts, which function as blood depot and allow blood to move in vessels in two directions. This study is shown the interrelation of the coelomic, blood, and metanephridial excretory systems in brachiopods.

# ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

## БОТАНИКА

### Видовое разнообразие эпилитных лишайников на территории Петрозаводского городского округа

Киркина М.П. \*, Сони́на А.В.

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск  
\* e-mail: soul1essness404@gmail.com

Рост площади городов влечет за собой трансформацию естественных экосистем, изменение их биоты. Территория Петрозаводского городского округа (ПетрГО) имеет площадь 113 км<sup>2</sup> и отличается гетерогенностью за счет сохранения в черте города естественных лесных массивов и наличия прибрежных зон водотоков и Онежского озера (Андросова, 2010). Это создает условия для высокого биоразнообразия, в частности лишайнофлоры. Лишайнологические исследования в черте города проводятся с середины 19 века. На сегодняшний день в ПетрГО известно 417 видов лишайников и близкородственных к ним грибов (база данных «Лишайники г. Петрозаводска», 2016). Однако доля лишайников эпилитной группы в ней не высока, что и определило цель данной работы — выявить видовое разнообразие лишайников эпилитной группы в различных биотопах города.

Видовое разнообразие эпилитных лишайников изучали маршрутным методом. Сбор образцов выполнен в 35 точках (жилые застройки, лесопарковые зоны, побережья), как с субстратов естественного происхождения, так и с антропогенных материалов (бетон, кирпичи, толь). Определение видов выполнено на кафедре ботаники и физиологии растений ПетрГУ стандартными лишайнологическими методами (Сони́на и др., 2006). Лишайники хранятся в гербарии ПетрГУ (PZV).

В результате анализа более 200 определений образцов составлен предварительный список, включающий 53 вида лишайников, среди которых 13 видов — новые для ПетрГО, 10 — новые для биогеографической провинции Karelia olonetsensis (Kol). Кроме того, к интересным находкам можно отнести *Aspicilia laevata* (Ach.) Arnold, *A. laevatoides* (H. Magn.), *Staurothele fissa* (Taylor) Zwackh, *Verrucaria nigrescens* Pers. *V. umbrinula* Nyl., обнаруженные нами повторно в Kol спустя 80–100 лет после их первого выявления. Вид *Rhizocarpon reductum* Th. Fr. ранее известен из Ботанического сада ПетрГУ, который располагается в черте города, но на противоположной от основной части города стороне Петрозаводской губы Онежского озера и относится к другой провинции — Karelia onegensis (Kon). В настоящем исследовании вид обнаружен в части города, в Kol, и впервые указывается для этой провинции. *Bryobilimbia hypnorum* (Lib.) Fryday, Printzen & Ekman — эпибриофит, как указано в научных источниках, но в условиях повышенной влажности и затенения отмечен в городе на каменном субстрате. *V. nigrescens* Pers. в условиях городской среды встречается на камнях в прибрежной зоне реки Лососинки, хотя обычно предпочитает более сухие местообитания.

В ходе целенаправленного изучения эпилитной лишайнофлоры пополнился список видов лишайников Петрозаводского городского округа, что подчеркивает значимость такого рода исследований.

### Diversity of the epilithic lichens of the city of Petrozavodsk

Kirkina M. \*, Sonina A.

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk  
\* e-mail: soul1essness404@gmail.com

The species diversity of epilithic lichens in different biotopes in the city of Petrozavodsk was studied. More than 200 sample definitions were analyzed. The preliminary list included 53 lichen species, including 13 species new to the Petrozavodsk city district, 10 new to the biogeographic province of Karelia olonetsensis (Kol).

## Эколого-субстратный анализ лишайников растительных сообществ Мунозерского кряжа (Республика Карелия)

Беляева Т.А. \*, Турок С.М., Андросова В.И., Сони́на А.В.

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск

\* e-mail: talbeliaeva@yandex.ru

Геоморфологическое образование Мунозерский кряж находится в Кондопожском районе Республики Карелия, простираясь частично и на территорию заповедника «Кивач». Гряды кряжа сложены магматическими горными породами — габбро-долеритами, базальтами с включением шунгитовых сланцев и шунгитов (Demidov et al., 2006; Куликова, Куликов, 2008). Проведенные ранее исследования в растительных сообществах Мунозерского кряжа в пределах заповедника «Кивач» показали высокое видовое разнообразие, в том числе и лишайников (Тарасова и др., 2023а; Тарасова и др., 2023б).

Целью исследования являлось изучение субстратной приуроченности лишайников растительных сообществ в пределах гряды Мунозерского кряжа, расположенной вблизи села Спасская губа Кондопожского района. Исследование проводилось в 2024 году на постоянных пробных площадях размером 25×25 м, заложенных в листовых сообществах с фрагментами скальных обнажений. В древесном ярусе доминируют береза, осина и рябина, давность нарушения — 70–80 лет. В ходе работы проведены полные геоботанические описания компонентов растительных сообществ (Методы изучения..., 2002), а также изучено видовое разнообразие лишайников на всех субстратах. Общая площадь исследования составила 0,25 га. Определение видовой принадлежности лишайников проводилось в лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений ПетрГУ по общепринятым в лихенологии методикам. Всего проанализировано свыше 1000 образцов лишайников, которые хранятся в гербарии ПетрГУ (PZV).

В результате исследования обнаружено 209 видов лишайников и близкородственных грибов на 6 группах субстратов. Наибольшее число — 144 вида лишайников встречено на коре 10 видов листовых и хвойных деревьев. Наиболее богатой по видовому составу лишайников является кора рябины (79 видов), наименее — кора ели (11 видов). Субстратный анализ показал, что в изученных сообществах 102 вида лишайников встретились только на одном типе субстрата и являются специфичными. Так, на коре деревьев выявлено 38 специфичных видов. На мертвой древесине всего обнаружено 63 вида лишайников (3 специфичных), на разрушающейся древесине — 26 (1), на камнях — 64 (52), на мхах — 22 (6), на почве — 11 (2). Таким образом, наибольшее число специфичных видов обнаружено на скальных обнажениях и камнях. Значительное число лишайников (107) в выявленном видовом составе встречены на двух и более субстратах. Интересно отметить, что обычно эпифитный вид *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. — индикатор ненарушенных сообществ, вид, внесенный в Красные книги РК (2020) и РФ (2008), в обследованных сообществах произрастает на вертикальных замшелых скалах, перейдя, видимо, с коры старой ивы.

## Ecological and substrate analysis of lichens in forests communities of Munozersky ridge (Republic of Karelia)

Beliaeva T. \*, Turok S., Androsova V., Sonina A.

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

\* e-mail: talbeliaeva@yandex.ru

We studied lichen diversity and substrate preferences of lichens in forests communities of Munozersky ridge (Republic of Karelia). In total, 209 species of lichen were found on 6 groups of substrates. The largest number of species (144) were found on the bark of trees, the lowest (11)—on soil. Also 102 species were specific to their substrate. The haft of specific species (52) was recorded on stones and rocks.

## **Эпифитные лишайники тундровых сообществ горы Кивакка (Национальный парк «Паанаярви», Республика Карелия)**

*Кемпи О.В. \*, Андросова В.И., Беляева Т.А.*

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск

\* e-mail: kempi2001@mail.ru

Гора Кивакка — одна из самых высоких (499,5 м) вершин Карелии, находится на территории Национального парка «Паанаярви», расположенного в самой северо-западной части Республики. Территория парка приурочена к низкогорному рельефу с участками горных тундр, которые являются самыми южными в Фенноскандии и характеризуются своеобразной арктической растительностью со специфическим видовым составом (Громцев, Кравченко, 2019). Разнообразие природных условий определяет высокое видовое разнообразие лишайников растительных сообществ парка, которое привлекает исследователей с конца XIX века. Здесь отмечено около трети видов лишайников и близкородственных грибов (443), известных для Карелии (Halonen, 1993).

Целью исследования являлось изучение видового состава эпифитных лишайников в тундровых сообществах горы Кивакка. На вершине горы была заложена пробная площадь размером 30 x 50 м, в пределах которой были изучены лишайники на всех форофитах, представленных стелющимися и прямостоячими формами с высотой, не превышающей 2 м. Образцы лишайников собраны со стволов и ветвей сосны, ели, можжевельника, березы, рябины, ивы для дальнейшего определения в лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений ПетрГУ по принятым в лихенологии методам. Всего было проанализировано около 300 образцов лишайников, которые хранятся в гербарии ПетрГУ (PZV).

В результате наших исследований было обнаружено 65 видов лишайников, что составляет 15 % от общего числа видов лишайников, обнаруженных на территории Национального парка «Паанаярви» (Halonen, 1993). Выявленные виды принадлежат к 18 семействам и 36 родам, преобладают лишайники накипной жизненной формы, составляющие более половины видового состава (54 %, 35 вида). Доля участия листоватых и кустистых видов одинакова (23 %, 15 видов). Наибольшее число видов лишайников было отмечено на сосне — 34, на можжевельнике — 23, на березе — 22, на ели — 11, на рябине — 6, на иве — 4. В тундровых сообществах горы Кивакка обнаружено 3 вида, внесенных в Красную книгу Республики Карелия (2020), и 2 вида, ранее не отмеченных для территории Национального парка. Интересно отметить, что на исследованных деревьях обнаружены эпифитные лишайники родов *Melanelia* и *Rhizocarpon*.

## **Epiphytic lichens of tundra communities of mountain Kivakka (Paanajärvi National Park, Republic of Karelia)**

*Kempi O. \*, Androsova V., Beliaeva T.*

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

\* e-mail: kempi2001@mail.ru

We studied epiphytic lichens diversity of tundra communities on mountain Kivakka (499.5 m) in Paanajärvi National Park. In total, 65 species of lichens were found, including 34—on pine, 23—on juniper, 22—on birch, 11—on spruce, 6—on rowan and 4—on willow. Three species are listed in Red Data Book of Republic of Karelia, 2 species are new for the territory of Paanajärvi National Park.

## Характеристика ценопопуляции *Cypripedium calceolus* L. в национальном парке «Паанаярви»

Дрогунова Д.И. \*, Стародубцева А.А.

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск

\* e-mail: dariadrogunova@mail.ru

Венерин башмачок обыкновенный *Cypripedium calceolus* L. является редким представителем семейства Орхидные (Orchidaceae), занесен в Красную книгу Карелии со статусом редкости 5 (LC) (2020) и России со статусом редкости 3 (2023). В Карелии вид является одним из наиболее распространенных видов орхидей и отмечен во всех флористических районах, охраняется на территориях заповедников «Кивач» и «Кандалакшский», а также в национальном парке «Паанаярви». По данным А.В. Кравченко и О.В. Кузнецова (2008) на территории парка вид встречается нередко, произрастает в лесах и на низинных болотах. Исследования были проведены на территории НП «Паанаярви» в середине июля 2024 года. В задачи исследования входило: описание фитоценоза, в котором произрастает *C. calceolus*, определение численности и возрастной структуры ценопопуляции, а также морфометрических характеристик растений *C. calceolus*.

Исследуемая ценопопуляция *C. calceolus* произрастает в ельнике разнотравно-черничном зеленомошном. Древесный ярус образуют *Picea* sp., *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, подлесок — *Salix* sp., *Juniperus communis*, *Alnus incana*, *Lonicera* sp., *Sorbus aucuparia*, *Daphne masereum*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus*, *Cirsium heterophyllum*, *Melica nutans*, в мохово-лишайниковом — *Hylocomium splendens* и *Sphagnum* sp. Видовое богатство сообщества составляет 51 вид сосудистых растений и 6 видов мхов.

Численность исследуемой ценопопуляции *C. calceolus*, составила 259 особей. Доля ювенильных особей составила 1,2 %, иматурных — 5,4 %, вегетативных — 57,9 %, генеративных — 35,5 %, сенильные особи не были обнаружены. Среди генеративных особей встречались особи с одним цветком и с двумя цветками. Доля плодоносящих особей составляет 51 % от общего числа генеративных. Доля поврежденных особей в ценопопуляции составила 12,0 %. Листья растений были повреждены, вероятно, насекомыми.

Регулярный сбор данных о ценопопуляциях охраняемых видов позволяет составить представление о динамике изменения его численности. Это в свою очередь позволяет вовремя принимать меры по сохранению редких видов, в том числе и *C. calceolus*. Данные, полученные в результате исследования, переданы в дирекцию национального парка «Паанаярви» для дальнейшего использования.

## Characteristics of the *Cypripedium calceolus* L. cenopopulation in the Paanajarvi National Park

Drogunova D. \*, Starodubtseva A.

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

\* e-mail: dariadrogunova@mail.ru

*Cypripedium calceolus* L. is a rare species of the Orchidaceae family. The studies of the *C. calceolus* cenopopulation were carried out in the Paanajärvi National Park in July 2024. The phytocenosis in which *C. calceolus* grows was described, the number and age structure of the cenopopulation, as well as the morphometric characteristics of *C. calceolus* plants were determined.

## First molecular insight into hybridization in *Carex* sect. *Ceratocystis* Dumort. from North-West Russia

Domashkina V.<sup>1,2</sup>, Zhurbenko P.<sup>2</sup>, Leostin A.<sup>1,2</sup>, Gussarova G.<sup>1,3</sup>, Rodionov A.<sup>1,2</sup>

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

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

<sup>3</sup> UiT—The Arctic University of Norway, UMAK, The Arctic University Museum of Norway, Tromsø, Norway

\* e-mail: domvalya@gmail.com

*Carex* L. is one of the largest genus of flowering plants with ca. 2000 species spread all over the world. The hybridization in the ecologically important genus *Carex* is quite common, although fertile hybrids are found only in a few sections, for example, *Carex* sect. *Ceratocystis* (*Carex flava* agg). Its representatives (6–19 species) are distributed in Eurasia, North America and the Southern Hemisphere. About 7 species of this section are present in Russia. Species delimitation in *Carex flava* agg. is complicated by hybridization, introgression and faint morphological gaps between species. The use of some DNA markers, such as ITS1 and ITS2, allows taxonomic relationships between species to be resolved. This study aims to characterize ribotypes in *Carex* sect. *Ceratocystis* species and their hybrids.

The survey is based on original material from NW Russia collected in 2023 and supplemented by samples from PTZ Herbarium. Total number of samples is 30: 7 *C. flava* L., 2 *C. serotina* Merat, 5 *C. scandinavica* Dav., 5 *C. flava* × *C. scandinavica* и 5 *C. × subviridula* Fernald (*C. flava* × *C. scandinavica*), 1 *C. × subviridula* (*C. flava* × *C. serotina*), 1 *C. hostiana* DC., 1 *C. × xanthocarpa* Degl., 1 *C. lepidocarpa* Tausch and 1 *Carex* sp. ×? from Arkhangelsk, Leningrad, Murmansk Oblasts and Republic of Karelia. We apply Illumina for ITS1 region sequencing. Bioinformatics analysis was conducted using the USEARCH v.11 pipeline (Edgar, 2010), results were summarized with PCoA and TCS network analysis.

There were 15 total ribotypes identified. No ribotype was species-specific, but all non-hybrid species had unique patterns of ribotypes, with the exception of *C. serotina* and *C. scandinavica*, which had identical patterns. This is not surprising, as *C. scandinavica* is often considered to be a variety of *C. serotina* due to similarities in morphology. Hybrids had ribotypes of both parents in different percentages. For those species where several samples were taken, the sets of ribotypes in different samples within a species remained mostly constant. Analysis of rDNA showed that some specimens from Leningrad Region (*C. lepidocarpa*, *Carex* sp., *C. × subviridula*) with intermediate morphological characters for example male spike with peduncle and length of lowest bract in inflorescence may have been misidentified, which was also confirmed by repeated morphological analysis.

*This work was supported by research project No. 124020100136-0 of the Komarov Botanical Institute.*

## Результаты фенотипирования рекомбинантных дигаплоидных линий ярового ячменя в условиях Полярной опытной станции ВИР

Михайлов А.А.<sup>1\*</sup>, Лоскутов И.Г.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Полярная опытная станция — филиал Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Апатиты

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), отдел генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра агрохимии, Санкт-Петербург

\* e-mail: dfneo@yandex.ru

Для формирования высокой урожайности растений необходимо создание адаптивных сортов с высоким потенциалом продуктивности. Для каждого региона России приоритетные задачи развития селекционной работы определяются проблемами, связанные с зональной спецификой региона, отражающую почвенно-климатические условия. Данное исследование направлено на выделение перспективных линий и маркированных доноров хозяйственно ценных признаков для создания сортов ярового ячменя, подходящих к условиям возделывания в Мурманской области.

Материалом для данного исследования послужили три картирующих популяции рекомбинантных дигаплоидных линий ярового ячменя Г — 21219 × Московский 121 (173 линии), Ача × Алей (160 линий), Талан × Саша (158 линий), родители изученных линий и шесть районированных стандартных сортов ячменя для Северного региона РФ. Фенотипические наблюдения проводились в условиях Полярной опытной станции — филиала ВИР в 2024 г. в соответствии с Методическими указаниями по изучению коллекции ячменя (2012). Для проведения изучения использовали полевой и лабораторный методы. Математическую обработку данных проводили в сравнении с данными по стандартным сортам.

При анализе отдельных линий по каждой комбинации дигаплоидных популяций установлено, что вегетационный период у 173 изученных линий от комбинации (Московский 121 и Г-21219) составил от 52 до 61 дня. Наиболее скороспелыми с продолжительностью вегетационного периода в 53-54 дня были 51 линия. С сокращенным периодом всходы-колошение в 38 дней, выделено 43 линии и 13 линий с периодом колошение-молочная спелость в 6–9 дней.

У комбинации Талан и Саша 158 изученных комбинаций определено, что вегетационный период составил от 54 до 61 дня. Наиболее скороспелыми с продолжительностью вегетационного периода в 54–55 дня были 34 линии. С сокращенным периодом всходы-колошение в 38 дней выделено 93 линии и 20 линий с периодом колошение-молочная спелость в 8-9 дней. У комбинации Ача и Алей, 160 изученных комбинаций определено, что вегетационный период составил от 51 до 59 дней. Наиболее скороспелыми с продолжительностью вегетационного периода в 51–53 дня были 16 линий. С сокращенным периодом всходы — колошение в 31–33 дня выделено 54 линии и 14 линий с периодом колошение — молочная спелость в 7-9 дней. Минимальные показатели у районированных сортов вегетационный период составил 58 дней. Период всходы — колошение составил от 31 дня, период колошение — молочная спелость 7 дней.

Предварительные данные показали, что наиболее перспективными с достоверно сокращенным вегетационным периодом в условиях Мурманской области являются дигаплоидные линии из комбинации скрещивания Ача×Алей.

## Results of phenotyping of recombinant dihaploid lines of spring barley under the conditions of the Polar Experimental Station of VIR

Mikhailov A.<sup>1\*</sup>, Loskutov I.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Polar Experimental Station — branch of the Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Apatity

<sup>2</sup> Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Department of Genetic Resources of Oats, Rye, Barley, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Department of Agrochemistry, Saint Petersburg

\* e-mail: dfneo@yandex.ru

To form a high yield of plants, it is necessary to create adaptive varieties with high productivity potential. This study is aimed at identifying promising lines for creating spring barley varieties for the Murmansk region. The material for this study was three populations of dihaploid lines of spring barley. Phenotypic observations were carried out at the Polar Experimental Station—a branch of VIR in 2024. Preliminary data showed that lines from the Acha×Alej combination are promising for the Murmansk region.

## Распределение разных групп углеводных метаболитов по таллому красной водоросли *Furcellaria lumbricalis*

Замяткина Е.Б.<sup>1\*</sup>, Яньшин Н.А.<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

Многие виды красных водорослей успешно применяются в промышленности, поскольку их талломы содержат ценные вещества, в частности разнообразные углеводные метаболиты (агары, каррагинаны и др.). Среди перспективных каррагинофитов выделяется арктическая красная водоросль *Furcellaria lumbricalis* — обитатель сублиторали северных морей из пор. Gigartinales. Общее содержание углеводов в талломах фурцеллярии может составлять более 50 % сух. массы (Yanshin et al., 2021). Помимо каррагинанов, интерес представляют и низкомолекулярные углеводы фурцеллярии, например, флоридозид — гликозид, обладающий осмопротекторными и антиоксидантными свойствами. Целью нашей работы стало детальное исследование углеводного состава *F. lumbricalis* и распределения разных классов углеводных метаболитов по таллому водоросли.

Объект исследования был собран в сублиторальной зоне Белого моря (Керетский архипелаг). В трех зонах таллома фурцеллярии (апикальной, центральной и базальной) было проанализировано общее содержание углеводов, а также содержание каррагинанов, багрянкового крахмала и ключевых низкомолекулярных углеводных метаболитов.

Результаты показали, что разные группы углеводных метаболитов распределены по таллому водоросли неравномерно. Центральная зона характеризовалась наибольшим общим содержанием углеводов (49 % сух. массы) и каррагинанов (28 % сух. массы). Содержание каррагинанов в апикальной зоне таллома было на ~ 40 % ниже, чем в базальной и центральной зонах. По-видимому, пониженное содержание этих структурных полисахаридов клеточной стенки в апексах фурцеллярии обусловлено апикальным характером роста талломов водоросли (Bird et al., 1991). По данным ГХ-МС анализа, доминирующими низкомолекулярными метаболитами *F. lumbricalis* являются специфические запасные гликозиды (флоридозид, изофлоридозид, дигенеазид), а также некоторые сахароспирты (маннит, глицерин) и дисахариды. Апикальная зона таллома отличается относительно высоким содержанием сахароспиртов (арабинит, сцилло- и мио-инозитол, треитол), изофлоридозида и треоновой кислоты. Доминирующие углеводные метаболиты, за исключением изофлоридозида и маннита, преимущественно накапливаются в центральной зоне. Вероятно, это связано с наиболее высокой активностью фотоассимиляционных процессов в данной части таллома. Базальная зона характеризовалась повышенным содержанием ряда моно- и дисахаридов (фруктоза, лактоза, сахароза, трегалоза), а также сахароспирта маннита. Такой профиль углеводных соединений свидетельствует о высокой метаболической активности клеток основания таллома фурцеллярии. Можно предположить, что в базальной зоне продукты фотосинтеза интенсивно расходуются на биосинтез осмопротекторных соединений, а также структурных и запасных полимеров.

Проект выполняется при поддержке РФФ № 25-24-00114.

## Intra-thallus distribution of various carbohydrate metabolites of the red alga *Furcellaria lumbricalis*

Zamyatkina E.<sup>1\*</sup>, Yanshin N.<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

\* e-mail: lizatekna@mail.ru

We studied the carbohydrate composition of the red gigartinales carrageenophyte *Furcellaria lumbricalis*. Our results demonstrated an uneven intra-thallus distribution of different polysaccharides and low molecular weight carbohydrates. Apical and central zones of the thallus accumulate polyols and specific glycosides while cells of the thallus base mostly synthesize mono- and disaccharides.

## **Влияние меди на биохимический состав арктических красных водорослей *Vertebrata fucoides* (Ceramiales) и *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales)**

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: kolya1256@gmail.com

Постоянный рост количества источников меди, включая промышленные и бытовые отходы, привел к значительному увеличению концентрации этого тяжелого металла в Мировом океане. Медь является важным микроэлементом, необходимым для роста и развития фотосинтезирующих организмов, однако в избыточной концентрации этот металл токсичен и может нарушать ключевые физиологические и биохимические процессы, такие как фотосинтез и дыхание. Целью данной работы явилось сравнение биохимического состава типичных представителей красных водорослей пор. Ceramiales и Gigartinales после экспозиции в воде с повышенной концентрацией меди.

Объектами исследования служили красные водоросли *Vertebrata fucoides* (Ceramiales) и *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales). Водоросли были собраны в сублиторальной зоне Белого моря. Талломы в течение 7 суток выдерживали в воде с различной концентрацией сульфата меди (0–20 мкмоль/л), после чего исследовали их биохимический состав с помощью набора спектрофотометрических методов, а также газовой хроматографии — масс-спектрометрии (ГХ-МС).

Обнаружено, что семидневная экспозиция в воде с различной концентрацией меди приводит к значительным изменениям в биохимическом составе обоих видов красных водорослей. Так, в талломах *F. lumbricalis* снижается содержание фотосинтетических пигментов, а также происходит накопление важного стрессового маркера — малонового диальдегида. Такие результаты могут говорить о том, что клетки водоросли при повышении концентрации меди испытывают физиологический стресс, связанный со снижением эффективности работы фотосинтетического аппарата и активацией процессов перекисного окисления липидов. Также в клетках этой водоросли наблюдается снижение содержания фенольных соединений, в том числе флавоноидов. Интересно, что в отличие от *F. lumbricalis* при повышении концентрации меди клетки *V. fucoides* накапливают хлорофиллы и каротиноиды, что может говорить об интенсификации процесса фотосинтеза. Также, в талломах вертебраты наблюдается рост общего содержания фенольных соединений. Вероятно, воздействие меди на талломы *V. fucoides* стимулирует биосинтез фенольных метаболитов, известных своей антиоксидантной защитой, а также способностью предотвращать повреждения клеток, вызванные тяжелыми металлами. Анализ ГХ-МС данных показал, что при повышении концентрации меди талломы *V. fucoides*, помимо фенольных метаболитов, также накапливают свободные аминокислоты, но теряют аконитовую кислоту и различные сахара и сахароспирты. Такие изменения метаболического профиля клеток могут быть связаны с нарушением биосинтеза первичных метаболитов, а также с участием низкомолекулярных углеводов в процессах детоксикации тяжелых металлов. Полученные данные позволяют заключить, что *V. fucoides* более устойчива к меди, чем *F. lumbricalis*.

Проект выполняется при поддержке РФФ № 25-24-00114.

## **Effect of copper on biochemical composition of the Arctic red algae *Vertebrata fucoides* (Ceramiales) and *Furcellaria lumbricalis* (Gigartinales)**

Yanshin N.<sup>1\*</sup>, Zamytkina 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

\* e-mail: kolya1256@gmail.com

Exposition to copper (4–20  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4$ ) lead to considerable changes in biochemical composition of the red algae. *Furcellaria* demonstrated a decrease in photosynthetic pigments and phenolics. Analysis of *Vertebrata* revealed accumulation of chlorophylls, carotenoids, amino acids, and phenolic compounds, as well as loss of sugars and aconitic acid.

## Эпифитные микрогруппировки сосны на Карельском перешейке

Гудовских А.А.\*, Фрейдин Г.Л.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра геоботаники и экологии растений, Санкт-Петербург  
\* e-mail: arinagudovskikh6@gmail.com

На формирование и развитие эпифитных сообществ оказывают влияние комплекс факторов на уровне биогеоценоза и микроместообитания. Целью данной работы является изучение факторов, влияющих на видовой состав и разнообразие эпифитных микрогруппировок сосны (*Pinus sylvestris* L.) на Карельском перешейке.

Работа была выполнена в окрестностях УНБ «Приладожская» и в районе пос. Лосево. В ходе работы были изучены эпифитные микрогруппировки 60 сосен на высоте 1 и 130 см от земли. Измерения производились на 4 сторонах света или на 2 (если обхват дерева на высоте 130 см был меньше 50 см) на 8 пробных площадях 20×20 м<sup>2</sup>. На пробных площадях проводилось краткое геоботаническое описание, выбиралось 5 деревьев, на которых измерялись показатели форофитов (трещеноватость, диаметр, сторона света, наклон и рН).

В сосновых лесах разной степени увлажненности были заложены 8 пробных площадей 20×20 м<sup>2</sup>, на которых производилось краткое геоботаническое описание по общепринятой методике и выбирались по 5 деревьев (всего 60 стволов). На каждом дереве для описания эпифитной растительности были заложены учетные площадки диаметром 16 см на двух высотах (1 и 130 см) и на 4 сторонах света (или 2 если обхват дерева на высоте 130 см был меньше 50 см). Для каждого форофита отмечались их характеристики: трещеноватость, сторона света, диаметр и наклон. Также были собраны образцы коры для измерения рН. Всего было сделано 132 описания эпифитной растительности и собран 91 конверт мохообразных и лишайников для камерального определения.

Всего отмечено 9 видов мохообразных и 20 видов лишайников, из которых 7 представителей рода *Cladonia*. Среднее общее проективное покрытие эпифитов на высоте 130 см составило 28 %, а на высоте 1 см — 49 %, из которых 13 % мохообразных и 36 % лишайников. Наиболее часто в исследуемых микрогруппировках встречаются на высоте 130 см — лишайник *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (встречаемость 89 %), на высоте 1 см — печеночник *Ptilidium pulcherrimum* (Weber) Vain. (встречаемость 45 %) и лишайник *Leparia* sp. (встречаемость 42 %). Самое большое среднее проективное покрытие на высоте 130 см у лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., на высоте 1 см — у печеночника *Ptilidium pulcherrimum* (Weber) Vain.

## Epiphytic microgroups of pine on the Karelian Isthmus

Gudovskikh A. A. \*, Freidin G.

Saint Petersburg State University, Department of Vegetation Science and Plant Ecology, Saint Petersburg  
\* e-mail: arinagudovskikh6@gmail.com

The purpose of this work is to study the factors to determine the species composition and diversity of epiphytic vegetation of pine on the Karelian Isthmus. As a result of the study, relationships between species composition and various phorophytes features were established.

## Фитоценологическое разнообразие растительности в экотоне тайга-тундра

Котлярчук Е.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, лаборатория динамики растительного покрова Арктики, Санкт-Петербург

e-mail: zhen.kotl@gmail.com

Экотон — переходная полоса между биомами или дискретными сообществами. Экотон между южной тундрой и северной тайгой (лесотундра) представляет интерес для изучения динамики древесной растительности как в историческом прошлом, так и в перспективе в связи с изменениями климата. Продвижение границы леса к северу за последние 50 лет, обусловленное региональным потеплением, подтверждено документально во многих исследованиях. Вслед за деревьями на север проникают многие бореальные виды флоры и фауны. Целью нашей работы было изучение фитоценологического разнообразия ключевого участка на границе распространения ели сибирской *Picea obovata* в Большеземельской тундре.

Работы проведены в бассейне р. Лая. Геоботанические описания (81) выполнены и классифицированы в традициях школы Браун-Бланке. Установленные ассоциации и типы сообществ отнесены к следующим высшим синтаксонам:

- Плакоры заняты редкоивово-ерниковыми кустарничково-моховыми тундрами и являются зональными сообществами подзоны южных тундр, относящимися к союзу *Carici arctisibiricae* — *Hylocomion alaskani* Matveyeva et Lavrinenko 2023 класса *Carici arctisibiricae* — *Hylocomietea alaskani* Matveyeva et Lavrinenko 2023.
- Ветрообдуваемые малоснежные местообитания на бровках коренных склонов долины реки заняты кустарничково-лишайниковыми тундрами союза *Loiseleurio* — *Arctostaphyilion* Kalliola ex Nordh. 1943 класса *Loiseleurio procumbentis* — *Vaccinietea* Egger ex Schubert 1960.
- На коренных склонах долины и склонах логов сформированы кустарничково-зеленомошные ерники союза *Phyllodoco* — *Vaccinion myrtilli* Nordh. 1936 того же класса.
- К южным склонам водораздельных террас приурочены острова березовых и еловых редколесий союзов *Cladonio* — *Pinion* K.-Lund 1986 и *Empetro* — *Piceion obovatae* Morozova et al. 2008 класса *Vaccinio* — *Piceetea* Br.-Bl. et al. 1939.
- В депрессиях надпойменных террас расположены плоскобугристо-топяные болота. Торфяные бугры заняты морошково-бугульничково-моховыми сообществами союза *Rubo chamaemori* — *Dicranion elongati* Lavrinenko et Lavrinenko 2015, более низкие торфяные участки — пушицевыми кочкарниками союза *Oxycocco microcarpi* — *Empetrium hermaphroditi* Nordh. ex Du Rietz 1954 класса *Oxycocco* — *Sphagnetea* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946. Между ними, в иных понижениях и по берегам озер сформированы осоково-сфагновые топи союза *Scheuchzerion palustris* Nordh. ex Tx. 1937 класса *Scheuchzerio palustris* — *Caricetea nigrae* Tx. 1937. Пойменные террасы заняты ивняками союза *Galio borealis* — *Salicion viminalis* Lavrinenko et Kochergina 2022 класса *Salicetea purpureae* Moor 1958 и лугами союза *Festucion pratensis* Sipaylova et al. 1985 класса *Molinio* — *Arrhenatheretea* Tx. 1937.
- Прибрежно-водные сообщества — 5 союзов 3 классов.

Таким образом, растительность ключевого участка в экотоне тайга-тундра отнесена к 15 союзам 8 классов. На плакорах распространены зональные сообщества южных тундр, а ценозы «лесного» класса *Vaccinio* — *Piceetea* занимают интразональные местообитания.

## Phytocoenological diversity of vegetation in the forest-tundra ecotone

Kotliarchuk E.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute RAS, Laboratory of Dynamics of the Arctic Vegetation Cover, Saint Petersburg

e-mail: zhen.kotl@gmail.com

We studied the phytocoenotic diversity of the key site in the taiga-tundra ecotone. Tundra communities (alliance *Carici arctisibiricae*—*Hylocomion alaskani*) occupy watershed terraces. Spruce (all. *Empetro-Piceion obovatae*) and birch (all. *Cladonio*—*Pinion*) woodlands grow on the southern slopes of the main riverbank. Additionally, we identified twelve alliances across seven classes.

## Особенности распространения близкородственных видов сосен *Pinus friesiana* и *P. × subfriesiana* в лесных сообществах о. Ряжков (Кандалакшский залив Белого моря, Северный архипелаг)

Немчинов В.М.<sup>1\*</sup>, Гаврилова Е.О.<sup>1,2,3,4</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,5,6</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Научный центр РАН, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Институт озераедения РАН, Санкт-Петербург

<sup>5</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша

<sup>6</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: nemchinovvovaoriginal@bk.ru

На территории Мурманской области распространены три вида рода *Pinus*: сосна Фриза *Pinus friesiana*, сосна обыкновенная *P. sylvestris* и их гибрид — *P. × subfriesiana* (Орлова, 2001, 2012; Орлова, Глазкова, 2018). Геоботанических описаний их распределения пока проведено до сих пор не было. Целью нашего исследования стало описание особенностей распространения видов рода *Pinus* на островах Северного архипелага (Кандалакшский залив Белого моря). Кроме того, методами дендрохронологического анализа мы попытались оценить время, когда формировались совместные поселения указанных видов. Данная работа отражает результаты первого этапа работ, в которых была проведена рекогносцировочная оценка поселений указанных видов на о. Ряжков (территория Кандалакшского природного заповедника)

Материал собирался в июле–августе 2024 г. Были произведены геоботанические описания на участках с разными типами лесных сообществ и особенностями рельефа: сосняк кустарничково-зеленомошный, сосняк-беломошно-зеленомошный, сосняк беломошно-ксерофитный. Было заложено 3 стандартные площадки по 400 м<sup>2</sup>. На них производился тотальный подсчет подроста и взрослых деревьев.

Для анализа возраста были выбраны 4 случайных крупных дерева (по два каждого вида). Далее на каждом из них с помощью бура Пресслера были взяты по 2 керны: с высоты 0,5 м, второй — 1,5 м. Керны были высушены, отшлифованы и на шлифах осуществляли подсчет колец зимней остановки возраста.

Геоботанический анализ показал, что в пределах лесного фиоценоза на о. Ряжкове наблюдается значительная вариабельность состава смешанных поселений рода *Pinus*. Соотношение видов *P. friesiana* и *P. × subfriesiana* варьирует от почти полного превосходства подроста сосны фризы в сосняке кустарничково-зеленомошном до единичных встреч в беломошно-ксерофитном сообществе, на небольшой сопке, где доминирует *P. × subfriesiana*. В беломошно-зеленомошном биотопе, расположенном в прибрежной зоне, деревья этих видов встречаются в практически равных долях. Подобное распределение растений соответствует ранее описанному паттерну распределения *P. × subfriesiana*, которая тяготеет к возвышенностям (Орлова, 2012). При определении возраста деревьев по кернам выяснилось, что наиболее старая особь, возраст которой составляет не менее 183 лет, относится *P. friesiana*. Таким образом, вселение этого вида на изученную территорию началось не позднее середины 19 века. Кроме того, анализ возраста показал, что в данном лесном сообществе гибриды *P. × subfriesiana* присутствовали уже 150 лет назад. Интересно, что при многочисленном и долговременном нахождении гибрида в лесных сообществах о. Ряжков, представителя другого «родительского» вида, *P. sylvestris*, в современных фитоценозах обнаружено не было. Для поиска причин наличия гибридов при отсутствии одной из гибридирующих форм требуются дополнительные исследования.

## Peculiarities of distribution of closely related pine species *Pinus friesiana* and *P. × subfriesiana* in the Ryazhkov island forests

Nemchinov V.<sup>1\*</sup>, Gavrilova E.<sup>1, 2, 3, 4</sup>, Khaitov V.<sup>1,5,6</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

<sup>3</sup> Research Center of RAS, Saint Petersburg

<sup>4</sup> Institute of Limnology of RAS, Saint Petersburg

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

<sup>6</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: nemchinovvovaoriginal@bk.ru

This work is devoted to distribution of species of the genus *Pinus* and determination of the age structure of forests. We studied the species composition of different forest habitats of Ryazhkov Island (top of the Kandalaksha bay, the White Sea).

## Лишайники семейства *Megasporaceae* архипелага Шпицберген

Кузьмина И.А.<sup>1\*</sup>, Пауков А.Г.<sup>1</sup>, Конорева Л.А.<sup>2</sup>, Чесноков С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уральский Федеральный Университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

<sup>2</sup> Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, Кировск

<sup>3</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: irina.kuzmiina@yandex.ru

Лишайники — группа, обладающая большим морфологическим разнообразием, высокими адаптивными способностями, позволяющими обитать в высоких широтах — зонах тундр и арктических пустынь, формируя богатые наскальные и напочвенные сообщества. Одна из таких территорий — арктический архипелаг Шпицберген. Первые данные о лишайниках территории появились в 1867 году в работе Т. Фриза (Fries, 1867). В настоящее время лишайнобиота территории насчитывает около 800 видов (Øvstedal et al., 2009), однако разнообразие представителей семейства *Megasporaceae* Шпицбергена нуждается в критической ревизии с использованием сравнительно-морфологических и молекулярных методов.

Цель работы состояла в изучении видового разнообразия семейства *Megasporaceae* на Шпицбергене по собранным коллекциям и литературным данным.

Материал для исследования был собран сотрудницей ПАБСИ КНЦ РАН Л.А. Коноровой во время экспедиций на Шпицберген с 2011 по 2016 года. Были проведены замеры морфо-анатомических показателей: количество и размер спор, длина пикноконидий, высота гимениального слоя и гипотеция. Методом тонкослойной хроматографии идентифицировали вторичные метаболиты. Последовательности ITS и mtSSU получены в результате секвенирования по Сэнгеру.

В результате исследования анатомии и морфологии было определено 33 вида, относящихся к семейству *Megasporaceae*. Из них 9 видов ранее не были известны на архипелаге: *Aspicilia anseris*, *A. caesiopruinosa*, *A. schisticola*, *A. scyphulifera*, *A. indissimilis*, *A. perradiata* var. *albida*, *A. johanna*, *A. verrucigera*, а также вид, приведенный в эксиккатах Арнольда под номером 999b.

Произведено сравнение видового состава Мегаспоровых арктических территорий. Флоры подразделяются на два кластера, характеризующихся невысоким сходством в пределах групп. Наибольшим сходством характеризуются биоты Аляски, Баффиновой Земли и острова Элсмир, а также Таймыра и Чукотки, следовательно, территории внутри кластеров имеют единое происхождение. Видовой состав Мегаспоровых Шпицбергена наиболее близок к таковому Гренландии, Скандинавии и Новой Земли.

Наиболее часто встречающиеся виды — *Aspicilia aquatica*, *A. perradiata*, *A. sublapponica*, *Megaspora verrucosa* и *Oxneriaria permutata*.

Молекулярным методом подтверждено присутствие на архипелаге Шпицберген вида *Oxneriaria virginea*, уточнены морфологические характеристики вида. Впервые получена сиквенсная последовательность локуса ITS вида *Aspicilia heteroplaca*, выявлено его корректное систематическое положение в роде *Oxneriaria*.

*Исследование проведено при поддержке РФФИ (грант 23-04-00070).*

## Lichens of the family *Megasporaceae* of the Svalbard

Kuzmina I.<sup>1\*</sup>, Paukov A.<sup>1</sup>, Konoreva L.<sup>2</sup>, Chesnokov S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University, Ekaterinburg

<sup>2</sup> Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre RAS, Kirovsk

<sup>3</sup> Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg

\* e-mail: irina.kuzmiina@yandex.ru

We studied the biodiversity of the lichen family *Megasporaceae* in the Svalbard Archipelago. Studied collection contained 33 species of *Megasporaceae* of which 9 are new for the territory. The list of species is the most similar to that of Novaya Zemlya, Greenland and continental Scandinavia. The presence of *Oxneriaria virginea* in the studied territory was proved by molecular methods. ITS locus of *Aspicilia heteroplaca* was sequenced for the first time proving its position in *Oxneriaria*.

## Морфологическое разнообразие почв севера Западной Сибири

Артюхов Е.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии, Санкт-Петербург  
e-mail: artyukhov.egor8@yandex.ru

В условиях глобального изменения климата (Vasiliev et al., 2020; Kaverin et al., 2021) и увеличения антропогенной нагрузки на территории Севера (Соромотин, 2007; Горбунова, 2021) становится актуальной проблема изучения и оценки разнообразия их почвенного покрова с целью прогнозирования динамики процессов почвообразования и трансформации экосистем, а также предотвращения деградации почв. Почвенное разнообразие севера Западной Сибири по сравнению с южными территориями региона является недостаточно изученным, что с учетом площади территории делает его исследования особенно актуальными (Абакумов, 2016). Данное исследование направлено на получение новых почвенно-таксономических данных, которые могут быть использованы для почвенного картирования территории и планирования хозяйственной деятельности при увеличении техногенной активности человека в криогенных экосистемах Арктической зоны РФ.

Для оценки морфологического разнообразия почв в условиях криолитозоны Западной Сибири были выбраны ключевые участки в пределах Приуральского и Ямальского районов Ямало-Ненецкого автономного округа. На пробных участках были заложены и описаны 13 почвенных разрезов: 3 — полуостров Ямал; 5 — горный массив Рай-Из, Полярный Урал; 1 — карбоновый полигон «Семь Лиственниц»; 4 — г. Салехард и окрестности. Территория исследования характеризуется следующими ландшафтами: равнинная полигональная ерничко-кустарничково-лишайниковая тундра; горная кустарничково-травяная тундра; предгорная лишайничково-травяно-кустарничковая тундра; предгорная лишайничково-травяно-кустарничковая тундра; предгорная травяно-кустарничковая тундра; предгорная травяно-мохово-кустарничковая тундра; равнинная лишайничково-мохово-кустарничковая лесотундра; равнинная лишайничково-травяно-кустарничковая лесотундра; равнинная мохово-кустарничковая лесотундра; равнинная мохово-кустарничково-ерничковая лесотундра.

С помощью описания морфологических признаков почвенных профилей было выделено 9 типов почв из 5 отделов. Наиболее представительным оказался отдел альфегумусовых почв: в 3 точках были диагностированы подзолы различных подтипов; в 2 — подбуры и сухоторфяно-подбуры; в 1 — подзол глеевый. Криогенные почвы были обнаружены в 4 точках: криоземы двух подтипов и криоземы грубогумусовые двух подтипов. Отделы торфяных, органо-аккумулятивных и слабо развитых почв были представлены следующими типами почв: торфяные эутрофные, серогумусовые и петроземы, соответственно.

Таким образом, почвенный покров исследованных площадок севера Западной Сибири характеризуется высоким разнообразием и мозаичностью, что связано с неоднородностью таких факторов почвообразования, как рельеф, почвообразующие породы, глубина залегания многолетнемерзлых пород и водный режим почв (Абакумов, 2016). Почвенное разнообразие детерминирует биотопическое разнообразие территории, которое особенно важно для сохранения биологического разнообразия уязвимых экосистем Севера. Следовательно, проблема сохранения биоразнообразия не может быть решена без сохранения разнообразия почв (Добровольский, 2011). Актуальным является дальнейшее заполнение пробелов в сведениях о разнообразии почв различных ландшафтно-геоморфологических позиций в данном регионе.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-44-00006.*

## Morphological diversity of soils in the north of Western Siberia

Artyukhov E.

Saint Petersburg State University, Department of Applied Ecology, Saint Petersburg  
e-mail: artyukhov.egor8@yandex.ru

The scale and extent of the territory together with the heterogeneity of soil formation factors endow the north of Western Siberia with a rich soil diversity. We laid down and described 13 soil transects on the basis of which we assessed the morphological diversity of soils.

## **Изменчивость характеристик Полярной фронтальной зоны в северо-западной части Баренцева моря по данным контактных наблюдений в условиях сокращения ледового покрова**

*Максимовская Т.М.<sup>1,2\*</sup>, Зимин А.В.<sup>1,2</sup>*

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

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

\* e-mail: maximovskaja.t@yandex.ru

Приведены результаты океанографических наблюдений, выполненных с борта НИС «Дальние Зеленцы» на разрезе Кольский меридиан в 2017–2023 гг. Основной акцент сделан на оценках характеристик фронтальных разделов в области северной части Полярной фронтальной зоны в осенний, зимний и весенний периоды. Для оценки аномалий ледовитости использовались данные Мирового центра данных по морскому льду (AARI WDC Sea-Ice). Выполнено сравнение результатов наблюдений в северной части разреза вблизи прикромочной ледовой зоны с характеристиками температуры и солёности из глобальных океанологических баз. Для сравнения привлекались продукты MERCATOR PSY4QV3R1, CMEMS GLORYS12v1 и TOPAZ5. На всех разрезах были обнаружены высокоградиентные зоны, выраженные в поле температуры и солёности, на разном расстоянии от кромки ледового поля. Было подтверждено, что в западном районе Баренцева моря отмечается устойчивый тренд к сокращению площади ледового покрова последние три десятилетия. Показано, что самый северный из фронтальных разделов Полярной фронтальной зоны Баренцева моря на оси разреза Кольский меридиан находился на расстоянии от 48 до 290 км от кромки ледовых полей, градиенты температуры варьировались от 0,10 до 0,20 °C/км, солёности — от 0,012 до 0,025 ‰/км, ширина фронтальной зоны не превышала 55 км. Наилучшее соответствие результатам измерений отмечено с данными продукта MERCATOR PSY4QV3R1.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме No. FMWE-2024-0028 (IO RAS).*

## **Variability of the Polar Frontal Zone Characteristics in the Northwestern Barents Sea Based on In-Situ Observations under Sea Ice Declining Conditions**

*Maksimovskaya T.<sup>1,2\*</sup>, Zimin A.<sup>1,2</sup>*

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

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

\* e-mail: maximovskaja.t@yandex.ru

The results of oceanographic observations conducted from the R/V *Dalnie Zelentsy* along the Kola Section during 2017–2023 are presented. The study primarily focuses on assessing the characteristics of frontal zones in the northern part of the Polar Front of the Barents Sea during autumn, winter, and spring.

## **Features of trace elements pollution of glacial cryoconites and soils of alpine gorges of the Republic of North Ossetia-Alania under different recreational load conditions**

*Kushnov I.<sup>1\*</sup>, Tembotov R.<sup>1,2</sup>*

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

<sup>2</sup> Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories RAS

\* e-mail: st084838@student.spbu.ru

The problem of deglaciation is relevant for polar and mountain regions and one reason of this rapid glacial retreat is a supraglacial sediment—cryoconite. It may affect local biogeochemical cycles and act as a reservoir of various pollutants for alpine soils and ecosystems, which is especially important in terms of primary soils establishment and intensification of anthropogenic activities. Therefore, the main purpose of this study is to examine pollution of atmospheric dust, cryoconites and alpine soils in two gorges at the Central Caucasus with different recreational load conditions.

The area of our research is located in the Central Caucasus, Republic of North Ossetia-Alania. We studied cryoconites and atmospheric dust from the Tsey Glacier and Skazka Glacier as well as soils from the adjacent gorges. While Tsey Glacier is situated in the North-Ossetian state nature reserve, the Skazka Glacier is not part of this nature reserve and traditional tourism with construction and traffic is highly pronounced. Content of trace elements (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) has been determined by atomic absorption spectroscopy. Pollution indices (Cf, PLI) and ecological indices (Er, PERI) have been calculated in order to correctly estimate pollution load.

Among samples studied, the highest values were found for zinc (max. 76.13 mg/kg) and copper (42.84 mg/kg). In Tsey Gorge trace elements were distributed unequally among soils, the highest content was found in organic horizons and topsoil due to high reactive interfaces of soil organic matter and, therefore, high absorption of trace elements. On the other hand, trace elements content was more uniformly distributed in the Skazka Gorge, and it was higher than those in the Tsey Gorge, especially in terms of copper and nickel.

Calculation of Cf revealed that all study sites were not polluted with zinc and lead, despite its high content. It is explained by the high natural values of these trace elements due to presence of Zn-Pb ores at Sadon ore deposit area. However, we found slight to moderate pollution level ( $1 < Cf < 3$ ) with Cu and Ni at the Skazka Gorge, while at the Tsey Gorge there was no pollution found, which indicate importance of land use type for pollution load of alpine ecosystems. Ecosystem indices currently indicated low level of pressure on local environment.

Authors are grateful to Prof. Dr. E. V. Abakumov for his advices and supervision.

*This work was supported by World-Class Scientific Center “Agrotechnologies of the future”, grant No. 075-15-2022-322.*

## Растворенный неорганический углерод ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ , [DIC]) в желобе Святой Анны (Карское море)

Наконечная А.С.<sup>1\*</sup>, Дубинина Е.О.<sup>1,2</sup>, Коссова С.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, кафедра ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития», Москва

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

\* e-mail: alya\_nakonechnaya@mail.ru

Изучены изотопный состав растворенного неорганического углерода и его концентрация в водах одного из разрезов (7 станций, 6–7 проб воды на каждой), расположенных в желобе Святой Анны (северо-запад Карского моря). Желоб Святой Анны является критической структурой, через которую происходит водообмен между Северным Ледовитым океаном и Карским морем, поэтому крайне важно получать новые данные для его изучения.

Отбор проб морской воды был произведен в ходе 58-го рейса НИС «Академик Иоффе» (август–сентябрь 2021 г.). Изотопный анализ растворенного неорганического углерода был выполнен в ИГЕМ РАН на приборном комплексе DELTA V+ (Thermo, Германия) в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS). Точность определений величины  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  составила  $\pm 0.05$  ‰ (1 $\sigma$ ), концентраций [DIC]  $\pm 5$  %.

На всех исследуемых станциях разреза величины [DIC] возрастают с глубиной и варьируют от 2070 до 2320 мкМ. Изолиния 2200 мкМ — величина, равная среднему содержанию [DIC] в Арктических водах (Anderson et al., 1998) — расположена на глубинах 35–150 м. В отличие от концентраций DIC, величины  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  возрастают в поверхностном слое до 1.6...1.8 ‰, практически достигая величины  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ , отвечающей равновесию с  $\text{CO}_2$  атмосферы (около 1.6 ‰ при величине  $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)_{\text{атм}} = -9$  ‰, Dean et al., 2020).

В водах изученного разреза наблюдаются две области с различными концентрациями DIC и соленостью. Воды с концентрацией [DIC] менее 2200 мкМ расположены в прогреваемом опресненном верхнем слое вод, имеющих высокую скорость первичной продукции в летнее время.

Воды с концентрацией [DIC] выше 2200 мкМ расположены в придонной части желоба. В этих водах наблюдается слабый отрицательный сдвиг величин  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ , что также указывает на процессы модификации вод, при которых на фоне возрастания концентрации [DIC] почти не происходит изотопных сдвигов.

Согласно проведенным расчетам, изотопные характеристики и концентрации DIC в поверхностном слое могут быть обусловлены продукцией органического вещества, имеющего  $\delta^{13}\text{C} \approx -20.4$  ‰, что близко к составу планктонного органического вещества. Изотопные параметры «модификационного» углерода в составе DIC могли составлять около 5,6 ‰.

Проведенные исследования позволяют установить процессы, контролируемые изотопные и концентрационные параметры DIC, и показать роль модификации вод, циркулирующих в области желоба Святой Анны.

*Работа проводится при поддержке гранта РНФ, проект 23-17-00001.*

## Dissolved inorganic carbon ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ , [DIC]) in the Saint Anna Trough (Kara Sea)

Nakonechnaya A.<sup>1\*</sup>, Dubinina E.<sup>1,2</sup>, Kossova S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, UNESCO Chair “Green Chemistry for Sustainable Development”, Moscow

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow

\* e-mail: alya\_nakonechnaya@mail.ru

We studied the isotopic composition of dissolved inorganic carbon and its concentration of seawater in the Saint Anna Trough, located in the northwest of the Kara Sea.

## **Моделирование развития прибрежных территорий как основа комплексного управления прибрежными зонами на примере города Архангельска**

*Прошчакова В.А.<sup>1\*</sup>, Фролова Н.С.<sup>1</sup>, Богдан Е.В.<sup>2</sup>, Димитриева П.О.<sup>3</sup>, Варенцов М.И.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

\* e-mail: vi.valeria.nova@gmail.com

Двинский залив — уникальная и хрупкая экосистема, расположенная на севере России, в Белом море, которая подвержена множеству угроз, включая загрязнение, а именно антропогенную деятельность. Интенсивное освоение прибрежных районов и рост промышленных предприятий увеличивают уровень загрязнения. Устойчивость экосистемы требует комплексного подхода к охране окружающей среды. В данном исследовании анализируется загрязнение взвешенными веществами прибрежной части акватории Двинского залива с использованием локальной климатической карты Архангельска, разработанной с помощью методологии WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools), и спутниковых снимков Sentinel-2.

В данной работе использовались снимки миссии Sentinel-2, полученные с сайта Европейского космического агентства. Пространственное разрешение изображений Sentinel-2 в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах составляет 10 м, что позволяет успешно визуализировать загрязнение воды взвешенными веществами.

В ходе работы была сгенерирована карта локальных климатических зон для портового города Архангельск на базе спутникового снимка за 2017 год. К данным зонам относятся территории, на которых климатические условия имеют специфические характеристики, отличающие от окружающих районов ввиду городской застройки. Общая точность карты, рассчитанная как отношение количества правильно определенных полигонов к общему количеству полигонов валидационной выборки, составила 81,8 %.

Анализ полученной информации показал, что повышенная антропогенная нагрузка на устьевую зону Северной Двины приводит к увеличению поступающих взвешенных веществ в водную экосистему залива, что очень хорошо проявляется при визуальном анализе спутниковых снимков данной территории. На сгенерированной локальной карте Архангельска можно заметить, что город содержит зоны плотной застройки средней этажности, а также малоэтажные строения из легких строительных материалов. На прибрежной части расположены промышленные предприятия и порт. Ввиду этого — неизбежно такое большое количество попадания загрязняющих веществ в акваторию.

Полученную карту локальных климатических зон, сгенерированную для прибрежных территорий, в комплексе со спутниковыми данными можно применять в качестве инструмента для понимания и управления их устойчивым развитием.

## **Modeling the development of coastal territories as the basis for integrated coastal zone management on the example of Arkhangelsk**

*Proshchakova V.<sup>1\*</sup>, Frolova N.<sup>1</sup>, Bogdan E.<sup>2</sup>, Dimitrieva P.<sup>3</sup>, Varentsov M.<sup>1,2</sup>*

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

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

\* e-mail: vi.valeria.nova@gmail.com

The sustainability of the Dvina Bay ecosystem depends on an integrated approach to environmental protection and conscious management of natural resources. The study analyzes suspended matter water pollution using a local climate map of Arkhangelsk based on the WUDAPT methodology and Sentinel-2 images.

## **Пирогенная трансформация почвенного органического углерода (на примере лесотундры Западной Сибири)**

*Чайсова Е.Е. \*, Упорова М.А., Арбузова Е.А., Самохина Н.П., Филимоненко Е.А.*

Тюменский государственный университет, Тюмень

\* e-mail: chausova.liza2016@yandex.ru

Природные пожары оказывают значительное влияние на биогеохимические процессы круговорота углерода в арктических экосистемах (Berger et al., 2024). На севере Западной Сибири пожары охватывают в среднем около 300 км<sup>2</sup> территории лесотундры и 200 км<sup>2</sup> тундры за год (Filimonenko et al., 2024). Пожар несмотря на кратковременное увеличение выбросов CO<sub>2</sub> в процессе горения способствует повышению стабильности почвенного углерода за счет формирования пирогенных циклических конденсированных соединений углерода (Silva et al., 2022).

Для оценки влияния пожара на стабильность почвенного органического вещества (ПОВ) была изучена почва постпирогенного и контрольного участков в Тазовском районе ЯНАО, где пожар был в 2018 году. Почвы отбирались в 2023 году и анализировались методом сухого сжигания на автоматическом CN анализаторе (Elementar vario Pyro cube, Германия) для определения содержания и запаса органического углерода (C<sub>орг</sub>) и общего азота (N<sub>общ</sub>). Термическую стабильность ПОВ определяли по его устойчивости к воздействию температуры при нагревании до 650 °C в окислительной атмосфере на приборе Mettler Toledo (TGA/DSC 3+). Маркером термической стабильности ПОВ являлись отношение содержания стабильного ПОВ к содержанию лабильного (индекс стабильности, IS). Для установления скорости базального дыхания почв (БД) и пула микробного углерода (C<sub>мик</sub>) измерялась скорость потока CO<sub>2</sub> при их инкубировании при 20 °C и увлажнении до 80 % от водоудерживающей способности.

На пятый послепожарный год содержание C<sub>орг</sub> возросло в 1,5 раза относительно почв фонового участка, а содержание N<sub>общ</sub> соответствовало значениям допожарного времени. Запасы C<sub>орг</sub> и N<sub>общ</sub> в почве увеличились на 30 % и 20 % соответственно, что указывает на накопление органического вещества в процессе постпирогенного восстановления участка лесотундры. Скорость БД и содержание C<sub>мик</sub> в постпирогенной почве были ниже на 34 % и 12 % относительно фонового участка, а отношение БД:C<sub>орг</sub> и C<sub>мик</sub>:C<sub>орг</sub> за пять послепожарных лет снизились в 5 раз относительно участка не подвергшихся воздействию пожару. IS ПОВ постпирогенных почв (1,35) был выше по сравнению с фоновыми почвами — 1,27. Следовательно, ПОВ постпирогенных почв характеризуется большей термической стабильностью.

В результате было установлено, что в постпирогенных почвах увеличились запасы органического углерода и общего азота по сравнению с фоновыми почвами. Скорость базального дыхания и пул микробного углерода не восстанавливаются допожарных. Пожар увеличил термическую стабильность органического вещества почв.

*Работа выполнена при поддержке РНФ № 23–24-00370 «Термические свойства почв как индикатор стабильности почвенного органического вещества» и «Устойчивое землепользование в Арктике в свете глобальных природных изменений (TerrArctic)», № 89-ДОН.*

## **Pyrogenic transformation of soil organic carbon in forest-tundra of Western Siberia**

*Chausova E. \*, Uporova M., Arbuzova E., Samokhina N., Filimonenko E.*

Tyumen State University, Tyumen

\* e-mail: chausova.liza2016@yandex.ru

The effect of wildfire on thermal stability of soil organic matter (SOM) and soil carbon cycle indicators in northern Western Siberia was investigated. The thermal stability of SOM decreased, content and stock of organic carbon, basal respiration and carbon pool of microbial biomass increased in burned soil compared to unburned soil.

## Оценка радиэкологической обстановки островных территорий Западного сектора Российской Арктики

*Липкина А.Е.<sup>1\*</sup>, Яковлев Е.Ю.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова Уральского отделения РАН, Архангельск

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

Со второй половины XX века Российская Арктика подверглась значительному техногенному радиационному воздействию: функционирование атомного полигона на Новой Земле, проведение ядерных испытаний, катастрофа на Чернобыльской АЭС, сброс радиоактивных отходов от западноевропейских радиохимических заводов, проведение подземных ядерных взрывов в мирных целях. Все это способствовало загрязнению окружающей среды техногенными радиоактивными изотопами.

Наиболее подвержен радиоактивному воздействию ввиду исторических событий является Западный сектор Российской Арктики, островные территории которого стали объектом проводимого исследования (Саркисов и др., 2015).

В рамках проводимых работ была измерена мощность дозы гамма-излучения на пробных площадках острова Мейбел (арх. Земля Франца-Иосифа), на Русской гавани (арх. Новая Земля) и в окрестностях поселка Бугрино (о. Колгуев), определено содержание гамма активных радионуклидов в пробах растительности и почв.

Как и предполагалось, самые высокие значения по исследуемым показателям были зафиксированы на арх. Новая Земля, что обусловлено историческим радиационным наследием района. По уровням загрязнения по основному техногенному радионуклиду <sup>137</sup>Cs мохово-лишайниковая растительность районов исследования располагается в порядке увеличения: о. Колгуев — 11,7 Бк/кг, о. Мейбел — 20,9 Бк/кг и Северный остров Новой Земли — 23,3 Бк/кг. Такая изменчивость в активностях <sup>137</sup>Cs объясняется направлениями движения воздушных масс при испытаниях на арх. Новая Земля, которые были в основном направлены на северо-запад, север и северо-восток от района взрыва на мысе Сухой Нос.

По активностям естественных радионуклидов мохово-лишайниковая растительность Новой Земли также значительно выделяется среди изученных территорий. Так, активности <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, <sup>210</sup>Pb и <sup>7</sup>Be в мохово-лишайниковой растительности в районе залива Русская Гавань в среднем более чем в два раза превышают значения, характерные для островов Мейбел и Колгуев. Такие высокие активности радионуклидов естественных радиоактивных рядов на Новой Земле связаны с накоплением растительностью естественных изотопов, попадающих из почвенных растворов, обогащенных радионуклидами подстилающих пород, представленных глинистыми сланцами.

## Assessment of the radioecological situation of the island territories of the Western sector of the Russian Arctic

*Lipkina A.<sup>1\*</sup>, Yakovlev E.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch RAS, Arkhangelsk

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

The most dangerous and widespread environmental pollutants in the Arctic include heavy metals, petroleum hydrocarbons, persistent organic pollutants, acid-forming substances and radionuclides. Research presented focuses on radioecological situation on the islands of the Barents Sea.

## Видовая характеристика культивируемых аэробных бактерий приливно-отливной зоны Зеленецкой губы Баренцева моря

Галушка В.В.\*, Афиногенова А.Г.

НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, Санкт-Петербург

\* e-mail: vlad.g.3301@gmail.com

Микробиологические сообщества Баренцева моря являются типичным примером существования бактерий в природно-климатических условиях Арктики. К особенностям приливно-отливной зоны относится нестабильность условий существования микроорганизмов: дважды в сутки происходит смена наземно-воздушной среды на водную, когда для микроорганизмов, обитающих в донном слое, аэробные условия сменяются на анаэробные. Разнообразие видов в составе морских микробиоценозов представляет большую теоретическую и практическую значимость для изучения северных морей.

Цель работы: изучить видовой состав культивируемых аэробных микроорганизмов приливно-отливной зоны Зеленецкой губы Баренцева моря, по данным литературы выявить бактерии с потенциалом практического применения.

Исследованы 3 образца взвеси морской воды и ила литорали Баренцева моря. Для отбора проб использовали стерильные пастеровские пипетки, жидкую транспортную среду Эймса. Первичный посев и выделение чистых культур провели методом Голда на чашках Петри, содержащих ZoBell агар для морских микроорганизмов, после термостатирования при 4 °С в течение 10 суток. Видовую идентификацию осуществляли с помощью MALDI-TOF MS (Производитель: Autobio diagnostics, Китай).

Из 3 проб выделено 10 видов морских микроорганизмов.

Из числа грамотрицательных микроорганизмов получены штаммы: *Rheinheimera baltica*, *Halomonas venusta*, *Pseudoalteromonas tetraodonis*, *Pseudomonas gessardii*, *Pseudomonas guineae*, *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas koreensis*, *Yersinia kristensenii*.

Из числа грамположительных микроорганизмов получены штаммы: *Planococcus halocryophilus*, *Polaribacter* spp.

Среди выделенных штаммов преобладающее большинство относится к грамотрицательным психротолерантным, психрофильным и галофильным бактериям типа *Pseudomonadota* (*Proteobacteria*). Все выделенные представители рода *Pseudomonas* обладают выраженной флуоресценцией при ультрафиолетовом свечении.

По данным литературы возможно практическое применение *Pseudomonas gessardii* в качестве продуцента антимикробных и фунгицидных веществ: липазы, протеазы, хитиназы. *Pseudomonas fragi* не способна продуцировать сидерофоры, не аккумулирует Fe<sup>+3</sup> из морской воды.

*Pseudoalteromonas tetraodonis* является частью нормофлоры покровов тела рыб отряда *Tetraodontiformes*, синтезируя опасный для человека яд нейропаралитического действия — тетродотоксин, однако Баренцево море не входит в ареал обитания иглобрюхообразных. Остается открытым вопрос об экологии данного микроорганизма.

В результате глобального потепления грамположительный экстремальный психрофил *Planococcus halocryophilus* интенсивно культивируется и выделяет в окружающую среду большое количество углекислого газа, тем самым ускоряет эффект таяния льда многолетнемерзлых пород.

Полученный экзополисахарид из грамположительных бактерий рода *Polaribacter* имеет потенциал использования для заживления кожных ран и обморожений, так как обладает антиоксидантной активностью при низких температурах.

## Species characteristics of cultivated aerobic bacteria of the tidal zone of the Zelenetskaya Bay of the Barents Sea

Galushka V. V.\*, Afinogenova A.

Saint Petersburg Pasteur Institute, Saint Petersburg

\* e-mail: vlad.g.3301@gmail.com

The microbiocenoses of the Barents Sea are an example of the existence of bacteria in unique natural and climatic conditions. The peculiarities of the tidal zone include instability: twice a day there is a change of the land-air environment to the water one. The diversity of species in marine microbiocenoses is of great theoretical and practical importance in the study of the northern seas.

## Пространственное и вертикальное распределение микрозоопланктона в период летней стратификации в Белом море

Клейзер А.А.<sup>1\*</sup>, Лаврентьев П.Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РГПУ им. А.И. Герцена, кафедра ботаники и экологии, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: kleyzerarina@gmail.com

Микрозоопланктон (в основном одноклеточные организмы <200 мкм) является основным потребителем первичной и микробиальной вторичной продукции в мировом океане и важным источником пищи для планктонных ракообразных. Однако он остается мало исследованным в Белом море. Основной целью нашей работы было изучение пространственного и вертикального распределения микрозоопланктона в период летней стратификации.

Исследование было проведено в июле 2024 г., во время рейсов НИС «Профессор Кузнецов» и «Беломор» в прибрежных, мелководных (Онежская, Чупинская и Унская Губы) и глубоководных (Бассейн, Кандалакшский залив) районах Белого моря. Пробы морской воды были отобраны батометром Нискина из перемешиваемого слоя вдоль нескольких продольных разрезов. На отдельных станциях пробы также отбирались с разных глубин в соответствии со структурой водного столба, определенной с помощью мульти-зонда STD. В частности, пробы были отобраны из пикноклина и зоны максимальной флуоресценции хлорофилла «а». Собранный материал был зафиксирован и камерально обработан под инвертированным микроскопом, оборудованным фазовым контрастом и цифровой камерой. В каждой пробе были определены встреченные виды, измерены их линейные размеры и подсчитано количество организмов.

В микрозоопланктоне было обнаружено 49 видов, включая цилиат, панцирных и беспанцирных динофлагеллат, раковинных амёб. Кроме того, в пробах встречались науплиусы ракообразных и, на некоторых станциях, коловратки. Численность микрозоопланктона варьировала <1 тыс. клеток/л в глубоководных водах Бассейна до 107 тыс. клеток/л в Бухте Благополучия (Соловки). На большинстве станций, основу численности микрозоопланктона (>70 %) в поверхностном слое составляли хлоропласт-содержащие цилиаты из родов *Mesodinium* и *Strombidium*. Исключение составили пробы, собранные в Унской губе, где преобладала гетеротрофная цилиата *Balanion planktonicum*. В прибрежных водах возрастало количество тинтиннид. Полученные данные являются новыми для Белого моря. Кроме того, эти предварительные результаты подтверждают гипотезу (Stoecker, Lavrentyev, 2018) о центральной роли миксотрофных организмов в планктоне морей высоких широт в условиях полярного дня.

## Spatial and vertical distribution of microzooplankton during summer stratification in the White Sea

Kleyzer A.<sup>1\*</sup>, Lavrentyev P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Herzen State Pedagogical University, Department of Botany and Ecology, Saint Petersburg

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

\* e-mail: kleyzerarina@gmail.com

Our study explored microzooplankton distribution in the White Sea in July 2024. Seawater samples were collected in the coastal and open waters. Microzooplankton composition and abundance were determined with inverted microscopy. The mixotrophic ciliates from the genera *Mesodinium* and *Strombidium* dominated in the mixed layer at most stations.

## Сезонная динамика в сообществе обрастания на взаимосвязанных субстратах в верхней сублиторали Белого моря

Вержбицкий В.В.<sup>1\*</sup>, Чава А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра биологической эволюции, Москва

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория экологии прибрежных донных сообществ, Москва

\* e-mail: npbutterflies@mail.ru

Видовой и количественный состав сообществ прикрепленного макрозообентоса формируется как на неживых, так и на живых субстратах. Наглядной моделью для изучения подобных сообществ являются взаимосвязанные субстраты. Одна из таких систем присутствует в Белом море в поясе красных водорослей — пластинчатая красная водоросль *Phycodrys rubens* (L.) Batters, растущая на подводных камнях (система из живого и неживого субстрата). Эти субстраты отличаются по абиотическим и биотическим условиям, потенциально влияющим на формирование консорциев эпибионтов на их разных участках.

Данные условия отличаются как на субстратах разной природы (живых и неживых), так и частях таллома одной водоросли. Так, талломы *Phycodrys rubens*, прикрепленные к камням, в зависимости от своего возраста отличаются по условиям, которые создают для организмов, на них обитающих: молодые талломы более освещены и выделяют больше вторичных метаболитов, чем старые талломы. Камни, на которых произрастают макрофиты, тоже создают отличающиеся условия: неорганический состав, большая стабильность субстрата в водном потоке, большее время существования, чем старые талломы. Мы предположили, что отличия в условиях, создаваемых исследуемыми субстратами, могут привести к возникновению на них значительно отличающихся консорциев прикрепленных организмов.

Мы провели пробоотбор водорослей недалеко от ББС МГУ им. М.В. Ломоносова (Белое море, Кандалакшский залив, губа Ругозерская) в 2022 году. Мы изучили видовой состав консорциев прикрепленных беспозвоночных, формирующихся на этих субстратах, а также подсчитали проективное покрытие отдельных видов и целых консорциев. Кроме того, мы исследовали изменения в данных консорциях, произошедшие за 3 месяца (с июля по сентябрь).

В ходе проведенной работы мы выяснили, что на разновозрастных частях талломов *P. rubens*, а также на камнях формируются отличающиеся консорции, напоминающие различные стадии сукцессии бентосных сообществ на каменистом дне Белого моря (Khalaman, 2013). На молодых частях талломов произрастало консорция пионерных, быстрорастущих видов с коротким сроком жизни, на камнях формировалась консорция с преобладанием медленно растущих, долгоживущих видов. На старых частях талломов произрастала консорция, сочетающая признаки предыдущих двух. Со временем видовой состав и количественная структура консорциев эпибионтов старых частей талломов стали более похожи на консорции на камнях. Дисперсионный анализ также показал, что месяц является значимым условием, влияющим на структуру консорциев. Таким образом, время существования субстрата, вероятно, было важнейшим условием, определяющим вид населяющей его консорции.

## Seasonal dynamics of sessile communities on two connected substrates in the upper subtidal of the White Sea

Verzhbitskiy V.<sup>1\*</sup>, Chava A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Biological Evolution, Moscow

<sup>2</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Laboratory of Ecology of Coastal Benthic Communities, Moscow

\* e-mail: npbutterflies@mail.ru

Our study examines the differences between sessile macrozoobenthic communities on interconnected living (*Phycodrys rubens*) and non-living (stones) substrates in the White Sea. The results show that substrate age is presumably the main factor influencing community composition, with younger thalli supporting pioneer species and older thalli and stones supporting slow-growing communities.

## **Сравнительный анализ улавливающей способности дночерпателя Ван-Вина и хапс-корера в количественных исследованиях мейобентосных организмов**

*Росинская А.Е.*

МГУ им. М. В. Ломоносова, кафедра общей экологии и гидробиологии, Москва  
e-mail: rosinskyanna@gmail.com

В области изучения количественного распределения мейобентосных организмов (многоклеточные животные размером от 32 мкм до 2 мм, обитающие в ассоциации с дном: на поверхности осадков, в просветах между частицами грунта) всегда остро стоял вопрос достоверности данных, основанных на пробах известного объема. Погрешность в достоверности данных может быть в первую очередь обусловлена неполной степенью изъятия организмов с площади пробоотбора.

Такое орудие лова, как дночерпатель, в силу особенностей строения, при опускании на дно неизбежно создает перед собой волну, которая нарушает поверхностный слой донных отложений, тем самым потенциально «вымывая» из проб часть мейобентосных организмов. Тем временем, орудие лова с принципиально иной конструкцией, хапс-корер, обладает значительно меньшим лобовым сопротивлением, в результате чего при опускании на дно не нарушает слой наилка, который обычно наиболее богат мейобентосными организмами (Мокиевский и др., 2015). В рамках данного исследования проверена гипотеза, что в пробах, отобранных при помощи дночерпателя, общая численность мейобентосных организмов занижена по сравнению с пробами, отобранными корером.

Отбор проб производился в Кандалакшском заливе и центральной части бассейна Белого моря, в районе Соловецких островов. На 10 станциях были отобраны 40 количественных проб. В качестве орудий лова был использован дночерпатель Ван-Вина (площадь раскрытия = 0,1 м<sup>2</sup>), а также хапс-корер (диаметр трубки = 15 см). Для количественных проб из каждого орудия лова извлекался фиксированный объем грунта. В дальнейшем к пробам, предварительно окрашенным красителем «Бенгальский розовый», был применен метод центрифугирования в градиенте плотности, после чего организмы были подсчитаны тотально в каждой пробе по крупным таксонам (Nematoda, Nargasticoida, Kinorhyncha, Ostracoda и т.д.) с использованием камеры Богорова и стереомикроскопа.

Таксономическая структура мейофауны достоверно зависит от глубины и содержания алевропелита (PERMANCOVA,  $p = 0,016$  и  $0,018$  соответственно). Сравнение численности таксонов в пробах, взятых дночерпателем и корером подтверждает, что гарпактикоиды — единственная группа, для которой обнаружены статистически достоверные различия в численности организмов (paired Wilcoxon test,  $p = 0,043$ ). Общая численность мейофауны и обилие основных групп снижаются в основном за счет увеличения глубины (PERMANCOVA,  $p = 0,001$ ), что особенно заметно на глубинах, превышающих 150 м. При этом плотность гарпактикоид падает быстрее, чем плотность нематод.

*Работа выполнена в рамках проекта «Комплексные исследования по оценке влияния глобальных климатических и локальных антропогенных факторов на состояние экосистем арктических морей «ПАО «РОСНЕФТЬ»».*

## **Comparative analysis of the catching capacity of Van Veen Grab and Haps Corer in quantitative studies of meiobenthic organisms**

*Rosinskaya A.*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of General Ecology and Hydrobiology, Moscow  
e-mail: rosinskyanna@gmail.com

In studying meiobenthic organisms comparability of different samplers has always been acute. This study tests the hypothesis that using a grab sampler gives underestimated data about total organisms abundance compared to the HAPS bottom corer. This work was supported by PJSC "ROSNEFT".

## **Стабильность структуры литоральных сообществ Белого моря: пространственно-временной аспект**

*Бабин М.А. \*, Тимофеева М. А., Стодольская А.Н., Филиппова Н.А.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: lord.babinton@gmail.com

С семидесятых годов прошлого века сотрудники и студенты кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ проводят многолетние наблюдения за бентосными сообществами в литоральной зоне в окрестностях УНБ СПбГУ (Кандалакшский залив, Белое море) (Максимович 1989; Максимович и др. 1991; Максимович и Герасимова 2004). По совокупности всех материалов, собранных за продолжительный (40 лет) период, в нашем распоряжении оказался весьма большой объем данных, позволяющий выявить характерные черты в организации сообществ макробентоса литорали мягких грунтов Белого моря.

Материал собран в конце июня–начале июля отдельно в среднем (СГЛ), нижнем (НГЛ) горизонтах литорали и в верхней сублиторали (до глубины 0.5 м) (ВСЛ) (в дальнейшем — станции) с интервалом 1–4 года с 1983 по 2024 гг. Размер выборочной площадки составил 0.01–1 м<sup>2</sup>. Число повторностей — 3-10 проб на станцию. На каждой станции оценивали видовой состав и для отдельных таксонов — численность, биомасса. Из абиотических переменных на станциях учтены характеристики донных отложений: гранулометрический состав грунта и содержание в нем органических веществ. Гранулометрический анализ проводился по определению доли фракций при просеивании грунта через систему сит с ячейками 10 мм, 5 мм, 3 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, 0,1 мм. Для оценки содержания органических веществ в грунте был использован метод «сухого сжигания» при температуре обработки проб 500 °С. Сравнение станций по абиотическим и биотическим показателям проведено с помощью многомерных методов. При выделении надвидовых группировок бентоса (кластерный анализ) в качестве биотических показателей использовали стандартизированные (в долях) значения биомассы и численности. Для оценки сопряженности в распределении абиотических переменных и характеристик макробентоса применяли тест Мантеля и процедуру BEST, позволяющую выделить абиотические характеристики, лучше всего объясняющие гетерогенность распределения макробентоса в анализируемом районе. В каждом выделенном по биотическим показателям кластере оценены характеристики видовой разнообразия и экологическое качество макробентоса (последнее — по морским биотическим индексам AMBI и M-AMBI).

На данном этапе исследования мы рассматриваем современное состояние макробентоса литорали Керетского архипелага как близкое к долговременной норме. Не выявлено существенных смещений пространственного распределения донной биоты за весь период исследования. Характеристики выделенных бентосных ассоциаций, в том числе и анализ их экологического качества, позволяют отнести последние к ненарушенным биосистемам.

На фоне относительно неизменных внешних условий основной причиной межгодовых изменений в структуре донных сообществ мы склонны рассматривать естественные тренды в показателях обилия массовых форм.

## **Stability of the structure of littoral communities of the White Sea: spatiotemporal aspect**

*Babin M. \*, Timofeeva M., Stodolskaya A., Filippova N.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

\* e-mail: lord.babinton@gmail.com

We studied benthic communities in the littoral zone of the Kandalaksha Bay, the White Sea, from 1983 till 2024. Multivariate analyses revealed stable spatial distributions and natural abundance variability. Abiotic factors influencing community heterogeneity were identified, and ecological quality assessments classified the macrobenthos as undisturbed, reflecting long-term environmental stability.

## Разделение каких экологических ниш *Littorina saxatilis* и *Littorina obtusata* мы наблюдаем на литорали Белого моря?

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-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

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

\* e-mail: alexbritik@gmail.com

Два вида улиток, самых многочисленных для литорали северной Атлантики, *Littorina saxatilis* (далее *Ls*) и *L. obtusata* (*Lo*), закономерно распределены по разным горизонтам осушки: *Lo* поселяются на нижних уровнях, тяготея к фукоидам (Kozminsky, 2013), а *Ls* обильны на более высоких уровнях (Berry, 1961). Для оценки распределения *Ls* и *Lo* на литорали Белого моря мы провели оценку их обилия на разных высотах относительно нуля глубин. Целью данной работы было оценить расхождение ареалов обитания этих двух видов и установить возможные причины такого разделения.

На двух участках илисто-песчаной литорали были заложены трансекты, проложенные от уреза воды во время отлива до верхней границы литорали. На нескольких уровнях осушки собирали всех улиток с нескольких площадок известной площади. Высоту между уровнями относительно нуля глубин измеряли с помощью водяного уровня. Было показано, что *Lo* демонстрирует пик плотности в нижних частях трансект, соответствующих поясу фукоидов. Второй вид (*Ls*) имел пик обилия выше по литорали, где представлены в основном камни или скальные выходы. Этот паттерн можно объяснить действиями двух механизмов. Во-первых, пространственная сегрегация может быть следствием конкурентных отношений, а наблюдаемая картина демонстрирует расхождение реализованных экологических ниш. Во-вторых, наблюдаемое расхождение может быть следствием различия фундаментальных ниш двух видов: моллюски распределяются по тем частям градиента условий, которые соответствуют их видоспецифическим чертам.

Для выбора между этими альтернативами мы провели эксперименты. Улиток двух видов выдерживали в течение суток без еды, чтобы они очистили кишечник от остатков пищи. После этого животных помещали в садки, содержащие либо камни, собранные с литорали, либо фукоиды. После 24 часов экспозиции в садках с этими субстратами улиток рассаживали в индивидуальные ячейки с водой на одни сутки. После этого подсчитывали число пеллет фекалий, которые вышли из кишечника. В результате было показано, что *Ls* выделяет больше фекалий, если находились в садках с камнями, чем при содержании в садках с фукоидами. Это можно трактовать как следствие более интенсивного питания, происходившего на камнях. В случае с *Lo* наблюдалась обратная картина: улитки более интенсивно выделяли пеллеты, а стало быть и питались, в садках с фукоидами. Полученные данные говорят о том, что более интенсивное питание происходило на тех субстратах, которые доминировали на тех уровнях литорали, где наблюдались пики численности видов. Этот результат свидетельствует в пользу того, что вертикальный паттерн распределения литторин является следствием разделения фундаментальных ниш моллюсков.

## What type of ecological segregation of *Littorina saxatilis* and *Littorina obtusata* do we observe on the White Sea littoral?

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

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

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

\* e-mail: alexbritik@gmail.com

Two transects were laid in the White Sea littoral to estimate the abundance of *Littorina obtusata* and *L. saxatilis* at different littoral horizons. We experimentally discovered that snails feed more actively on those substrates that are present in the biotopes where they are most abundant.

## Пространственное распределение метацеркарий семейства Notocotylidae на беломорской литорали в поселениях промежуточных хозяев — улиток-гидробиид

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

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: julzenkov1@yandex.ru

Notocotylidae — семейство трематод, церкарии которых, выходя из зараженных моллюсков, инцистируются на поверхности различных подводных субстратов и могут быть съедены окончательными хозяевами, обычно — утками. На илисто-песчаной литорали Белого моря промежуточными хозяевами нотокотилид часто выступают мелкие массовые улитки из семейства Hydrobiidae: *Peringia ulvae* (Pennant, 1777) и *Ecrobia ventrosa* (Montague, 1803). Условия среды и спектр представленных твердых субстратов в местообитаниях этих улиток могут сильно различаться в пространстве. Это может обуславливать неравномерность распределения в среде цист, образуемых церкариями, выходящими из улиток, в масштабах, от километров до сантиметров. Изучение этого распределения может дополнить наши знания о реализации жизненных циклов этих трематод на беломорской литорали.

В данном исследовании мы сравнивали обилие и распределение метацеркарий нотокотилид между субстратами в естественной среде, на территории Кандалакшского государственного заповедника, в трех пространственных масштабах: 1) между островами Демениха и Девичья луда (вершина Кандалакшского залива), 2) между разными участками побережья западной стороны острова Девичья луда, 3) между зарослями низкорослой водной травы-руппии *Ruppia maritima* (L., 1753) и участками открытого грунта, расположенных в непосредственной близости на литорали. Для этого в каждой точке на разных островах отбиралось по 7 проб грунта площадью 1/245 м<sup>2</sup> из зарослей руппии и с участка открытого грунта рядом с ними, после чего мы промывали их на сите с диаметром ячеек 1 мм и подсчитывали количество раковин моллюсков и цист на всех субстратах органического происхождения, попавших в пробу. Для руппии измеряли сырую биомассу. В настоящее время производится определение преобладающих в сборах видов паразитов путем секвенирования участков генома для выборки метацеркарий.

Метацеркарии встречались в основном на побегах руппии и на раковинах обоих видов гидробиид, иногда — на раковинах улиток р. *Littorina*. На о-ве Демениха цисты преобладают на руппии, а на Девичьей луде — на раковинах моллюсков, что может быть связано с различием в видовом составе паразитов на разных островах. Во всех трех точках различия индекса обилия метацеркарий на раковинах гидробиид (среднее число особей паразита на одну улитку). На Девичьей луде обилие цист на раковинах гидробиид выше в зарослях руппии, чем на участках открытого грунта, при этом число метацеркарий в зарослях сильнее зависит от плотности моллюсков. Обсуждаются возможные варианты объяснения этих результатов.

## Spatial distribution of Notocotylidae metacercaria at the White Sea intertidal in habitats of the intermediate hosts—Hydrobiidae snails

Zenkov E.<sup>1,2\*</sup>, Semyonova E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

\* e-mail: julzenkov1@yandex.ru

We compared the relative abundance and distribution of Notocotylidae metacercaria between underwater substrata at the intertidal of two islands at the White Sea (Kandalaksha Bay). We found spatial variations between different areas from the scale of different islands to the scale of different habitats within small intertidal area.

## Особенности распределения *Urastoma cyprinae* в литоральных поселениях мидий в вершине Кандалакшского залива Белого моря

Песочинский М.А. \*, Полоскин А.В.

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

\* e-mail: michail.pes\_2008@mail.ru

*Urastoma cyprinae* — мелкий ресничный червь, длиной не превышающий 1,5 мм — симбионт мантийной полости двусторчатых моллюсков в том числе митилид. В Белом море *U. cyprinae* встречается в литоральных и сублиторальных поселениях моллюсков рода *Mytilus* (Крапивин В.А., 2012). На данный момент большая часть исследований посвящена сублиторальным поселениям, а по изучению распределения *U. cyprinae* в литоральных поселениях работ нет.

В связи с этим, целью данной работы стало изучить особенности распределения поселений *U. cyprinae*, ассоциированных с литоральными поселениями митилид на территории Кандалакшского государственного заповедника в вершине Кандалакшского залива

Сбор материала проводился в 2022–24 годах. На литорали моллюски собирались вручную во время отлива, в сублиторали вручную, при помощи водолазного снаряжения. Были изучены 12 поселений мидий, располагающихся на островах. Вскрытие и изучение мантийной полости моллюсков производилось в течении суток с момента сбора. Для каждого моллюска учитывались следующие параметры: размер раковины моллюска, пол мидии, морфотип и количество турбеллярйй. Распределения *U. cyprinae* по высоте литорали было изучено в Фукусовой губе о. Ряжкова на трех вертикальных трансектах. Также был произведен эксперимент по переносу мидий в другие биотопы: в верхний отдел средней литорали и в литоральное русло ручья. Дополнительно исследовано влияние солености на поселение мидий с *U. cyprinae* в экспериментальных условиях.

Из 12 обследованных поселений мидий *U. cyprinae* встречена в девяти. Экстенсивность инвазии варьирует от 6,67 до 73,33 процентов. Средняя интенсивность инвазии колебалась в диапазоне от 1 до 3,84 штук. Было установлено, что с увеличением размера моллюсков возрастает экстенсивность и интенсивность инвазии. В результате изучения микрораспределения *U. cyprinae* по литорали было показано, что максимальные значения зараженности обнаруживались в районе нижней литорали и сублиторальной каймы. Уменьшение экстенсивности инвазии шло постепенно, достигая минимума в верхней части пояса фукойдов.

Эксперимент по переносу моллюсков показал, что осушка и опреснение снижают интенсивность и экстенсивность инвазии. При переносе моллюсков в зону у верхней границы пояса фукойдов за 15 дней экстенсивность инвазии снизилась почти в десять раз с 79,66 % до 6,78 %, а интенсивность инвазии уменьшилась среди зараженных моллюсков в среднем с 2,38 экз *U. cyprinae* на мидию до 1 экз. В экспериментальных установках с соленостью 7–9 промилле экстенсивность и интенсивность инвазии снизилась практически до нуля.

*U. cyprinae* широко представлена в поселениях мидий на литорали. Экстенсивность и интенсивность инвазии возрастают среди крупных моллюсков с длиной раковины более 30 мм. Показано негативное влияние увеличения осушки и опреснения на экстенсивность и интенсивность инвазии митилид *U. cyprinae*.

## Distribution features of *Urastoma cyprinae* in littoral mussel settlements at the top of the Kandalaksha Bay of the White Sea

Pesochinskiy M. \*, Poloskin A.

Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

\* e-mail: michail.pes\_2008@mail.ru

We studied the distribution features of *U. cyprinae* in mussel settlements. *U. cyprinae* has been shown to occur in littoral mussel settlements. The distribution of this worm across littoral settlements is heterogeneous. It has been established that drying and desalination reduce the extent and intensity of invasion in the mussel settlement.

## **Межгодовая вариабельность скорости роста двустворчатых моллюсков *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) в Белом море как отражение изменений условий окружающей среды**

*Сидорская П.О.\**, *Герасимова А.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: polina.sidor@mail.ru

Бореальные двустворчатые моллюски *Arctica islandica*, распространенные в Северной Атлантике, известны самой большой продолжительностью жизни среди неколонизальных животных и медленным ростом. Их долголетие позволяет использовать раковины как хронологическую запись изменений в окружающей среде и для реконструкции климата (Marali and Schöne, 2015). Цель работы — анализ межгодовой вариабельности скорости роста *A. islandica* (Linnaeus, 1767) в Белом море как индикатора условий окружающей среды.

Работа проведена на базе Учебно-Научной Станции «Беломорская» СПбГУ в устье губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море). Использованы результаты многолетних наблюдений (с 1984 года) за поселением *A. islandica* у о-ва Матренин (глубины 5–15 м). Отобраны особи (около 270) с хорошо различимыми ростовыми кольцами (не старше 10 лет) и точным возрастом для привязки приростов раковины к календарному году. Определение возраста моллюсков осуществлялось по внешней морфологии раковины. Размеры каждой особи определены в периоды годовых остановок роста. Рассчитаны стандартизированные индексы роста (SGI) по моделям Бергаланфи и Гомперца. Стандартизированные значения приростов усреднены за годы, построен многолетний ряд средних SGI. Вариабельность SGI сопоставлена с многолетней динамикой климатических и гидрологических показателей: индексов Североатлантической осцилляции (NAO) и Арктической осцилляции (AO), среднегодовой температуры воздуха, среднесезонной температуры воздуха, среднегодовой температуры поверхностной воды и на глубинах 5 м, 10 м, 15 м, среднесезонной температуры поверхностной воды и на глубинах 5–15 м. Связь скорости роста с климатическими и гидрологическими показателями изучена с помощью корреляционного анализа.

Стандартизированный индекс роста (SGI) изменялся за 40 лет (1976–2013 гг.) в зависимости от модели роста в пределах от 3 до 2 раз при использовании моделей Бергаланфи и Гомперца соответственно. У анализируемых особей наблюдалось колебание SGI с периодичностью 5–6 лет. Не удалось связать периоды «быстрого» и «медленного» роста *A. islandica* с крупномасштабными региональными климатическими явлениями (колебаниями индексов NAO, AO), за исключением локальных колебаний климатических и гидрологических условий. Отмечена статистически значимая положительная корреляция обоих SGI и температуры воздуха в весеннее время, SGI и средней температуры воды на глубинах от 0 до 15 м с марта по ноябрь, а также и средней температуры воды на глубинах от 0 до 15 м в осеннее время. Однако максимальный коэффициент корреляции достигал лишь 0,64.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 24-24-00347.*

## **Interannual variability of the growth rate of bivalves *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) in the White Sea as a reflection of changes in environmental conditions**

*Sidorskaya P.\**, *Gerasimova A.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

\*e-mail: polina.sidor@mail.ru

We investigated whether the growth rate of *Arctica islandica* is an indicator of climate change. The material was collected at the mouth of Chupa Bay. There was a statistically significant positive correlation between SGI and air temperature in springtime, SGI and mean water temperature at depths from 0 to 15 m from March to November, and mean water temperature at depths from 0 to 15 m in fall time.

## Что заставляет беломорских мидий заползать на фукоиды?

Ершова Т.А.<sup>1\*</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: tat\_yershova@list.ru

Два вида беломорских мидий (*Mytilus edulis* и *M. trossulus*) формируют смешанные поселения. Однако было показано, что локально виды расходятся по предпочитаемому субстрату: *M. trossulus* (MT) чаще встречаются на фукоидах, а *M. edulis* (ME) на грунте (Katolikova et al., 2016). В основе этого расхождения могут лежать конкурентные отношения. Для выявления роли конкуренции в разделении ниш мы поставили следующий эксперимент. В садках мы размещали мидий в трех грациях плотности (20, 60, 120 особей) в комбинации с соотношением MT:ME 50:50 %, а также садки со 100 % MT или 100 % ME. Всего было подготовлено 33 контейнера (по 9 для каждой грации в смешанных поселениях и по три для поселений с одним видом). К стенкам каждого из контейнеров с помощью пластиковых стяжек прикрепляли пучок *Fucus vesiculosus* и пучок *Ascophyllum nodosum*. Каждую установку помещали в решетчатый садок, предотвращавший расползание мидий. Все конструкции закрепляли на дне и экспонировали на нижней части литорали в течение месяца. После этого подсчитывали количество живых и мертвых моллюсков на фукоидах и на дне садка. По характеру закладки перламутра мидий относили к Т- или Е-морфотипу, что приблизительно соответствует MT и ME (Khaitov et al. 2021). Показано, что мидии Т-морфотипа с большей вероятностью перемещаются со дна на фукоиды, если в садках наблюдается высокая доля Т-морфотипа и высокая плотность поселения мидий. Для мидий Е-морфотипа такие зависимости не выявлены. Этот результат говорит о том, что переход MT на фукоиды может быть основан не на межвидовой конкуренции с ME, а на внутривидовой конкуренции MT. Внутривидовая конкуренция ME не приводит к перераспределению особей.

## What causes White Sea mussels to crawl onto fucoids?

Ershova T.<sup>1\*</sup>, Khaitov V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

\* e-mail: tat\_yershova@list.ru

A one-month field experiment found that *Mytilus trossulus* moves to fucoids in response to increased density of conspecifics. No such response was found in *M. edulis*.

## Совместная жизнь двух видов беломорских мидий делает их более уязвимыми для хищников

Беляева О.И.<sup>1</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

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

\* e-mail: polydora@rambler.ru

*Mytilus edulis* и *M. trossulus* — криптические виды, формирующие смешанные поселения в Белом море. Оба вида подвержены атакам морских звезд *Asterias rubens*, известно, что чаще хищники нападают на *M. trossulus* (Khaitov et al., 2018). Ранее было высказана гипотеза (Khaitov et al., 2023), что звезды предпочитают питаться в смешанных поселениях двух видов мидий. Это может быть связано с внутривидовой конкуренцией мидий, в следствие которой ослабляются их защитные реакции перед хищником. В данной работе мы попытались оценить в контролируемом эксперименте зависимость частоты нападений *A. rubens* на поселения мидий в зависимости от доли *M. trossulus* в смешанном поселении двух видов мидий.

В сублиторали были размещены экспериментальные садки (керамические пластины с друзами мидий разного таксономического состава). Эксперимент продолжался 3 дня, после чего садки были подняты вместе со звездами, наползшими на них. Звезды были измерены и взвешены. Мидий мы разделили на живых и съеденных. У всех мидий был определен морфотип, который позволяет с высокой вероятностью определить вид мидии (Khaitov et al., 2021).

Была построена аддитивная логистическая регрессионная модель, отражающая зависимость смертности мидий от доли *M. trossulus* в садке, размера мидии и ее видовой принадлежности. Было показано, что наибольшее количество морских звезд, действительно, было представлено в садках, где соотношение двух видов мидий было близко к 1:1. В этих же садках наблюдалась и максимальная смертность. Полученные данные согласуются с гипотезой о том, что звезды предпочитают питаться в смешанных поселениях. Возможно, что в таких агрегациях преобладание межвидовой конкуренции мидий снижает эффект от внутривидовой кооперации против влияния хищника.

## The joint life of two species of the White Sea mussels makes them more vulnerable to predators

Belyaeva O.<sup>1</sup>, Khaitov V.<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

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

\* e-mail: polydora@rambler.ru

We studied the dependence of the frequency of attacks by *Asterias rubens* starfish on the proportion of *Mytilus trossulus* mussels in mixed settlements of two species of the White Sea mussels *M. edulis* and *M. trossulus*. The experiment showed that the probability of being eaten by a mussel increases in a mixed settlement.

## Физиологические реакции мидий *Mytilus edulis* и *M. trossulus* в градиенте ключевых факторов среды

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

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

<sup>2</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша

\* e-mail: gerundinell@gmail.com

В субарктических морях Европы и Америки, в том числе и в Белом море, представлены два криптических вида мидий *Mytilus edulis* и *M. trossulus* (Mathiesen et al., 2017). Сосуществование в симпатрии близких видов ставит задачу поиска факторов, контролирующих их сегрегацию.

Описано два фактора, в градиенте которых наблюдается расхождение этих видов. Так, пространственное распределение в Балтике зависит от солености: *M. trossulus* предпочитают более опресненные участки (Riginos, Cunningham, 2005). Второй градиент связан с продолжительностью осушки: в Баренцевом море *M. trossulus* заселяют более высокие уровни литорали, *M. edulis* поселяется ниже, заходя в сублитораль (Marchenko et al. 2023). Однако выводы о связях с этими факторами основаны на коррелятивных полевых наблюдениях, которые нуждаются в подтверждении со стороны экофизиологических исследований.

Мы собрали мидий из двух контрастных поселений в вершине Кандалакшского залива Белого моря. В опресненном участке (соленость менее 10 ‰) доминировали *M. trossulus*, на участке без опреснения (соленость более 20 ‰) — *M. edulis*. Мы произвели перекрестную трансплантацию моллюсков. После трехдневной экспозиции провели тесты физиологической активности моллюсков. В качестве показателя мы использовали продукцию биссуса (количество нитей и сила прикрепления). Мидии обоих видов, изначально обитающие в условиях низкой солености, при трансплантации в среду с более высокой соленостью демонстрируют увеличение количества нитей. При этом в условиях высокой солености *M. trossulus* производят больше биссуса по сравнению с *M. edulis*. Когда особи, обитающие в среде с высокой соленостью, переносятся в гипосалинные условия, наблюдается снижение продукции биссуса у обоих видов. Сила прикрепления не демонстрировала значимых изменений при любых условиях трансплантации. Таким образом, пониженная соленость негативно влияет на оба вида. Вероятное объяснение того, что *M. trossulus* поселяется в эстуариях, может быть связано с более широким диапазоном толерантности *M. trossulus*, который позволяет виду существовать в неблагоприятных условиях опреснения.

Для анализа влияния осушки мидии двух видов содержали без воды в течение 1, 6, 26 и 30 часов. После этого мы анализировали количество выпущенных нитей биссуса. Было показано, что с увеличением осушки *M. trossulus* начинают продуцировать большее количество нитей, в то время как у *M. edulis* оно не изменяется. Этот результат говорит о том, что осушка усиливает физиологические процессы *M. trossulus*. Это может объяснять их большую приспособленность к жизни на более высоких уровнях литорали.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-74-200-24.

## Physiological responses of mussels *Mytilus edulis* and *M. trossulus* in a gradient of key environmental factors

Gerasimova M.<sup>1\*</sup>, Khaitov V.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

\* e-mail: gerundinell@gmail.com

We studied the effects of a gradient of salinity and dryness factors on the cryptic mussel species *Mytilus edulis* and *M. trossulus*. Experiments were conducted with the transplantation of individuals into environments with different salinities and interval drying. Available data showed higher tolerance of *M. trossulus* to changes in salinity and to desiccation.

## Распределение следов питания хищных гастропод на раковинах двух видов рода *Macoma* (Lamellibranchia)

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-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: ya.manylova@yandex.ru

Некоторые хищные гастроподы для того, чтобы добраться до мягких тканей моллюска, просверливают раковины, а затем поедают жертву. Например, моллюски семейства Naticidae охотятся именно так (Carriger, 1981). Особенности питания натицид активно изучаются: известно, что выбор места сверления на раковине жертвы не случаен. Он может быть связан с неравномерной утолщенностью раковины моллюска (Ansell, 1960) или расположением мягких тканей жертвы (Алякринская, 2002). Толщина раковины тоже может влиять на выбор места сверления: питаюсь моллюсками с толстой раковиной хищник будет проявлять большую стереотипность, чем при перфорировании тонкостенных жертв. Поедание толстостенных жертв требует больших затрат времени и энергии, поэтому большинство натицид должны атаковать таких жертв в наиболее «выгодную» часть створки. *Macoma balthica* и *M. calcarea* — обитающие в Белом море близкородственные виды, сходные по морфологии раковин и биологии, различающиеся, однако, толщиной створок (Полоскин, 1995). Их сходство снижает потенциальное воздействие прочих факторов на распределение перфораций и позволяет оценить влияние непосредственно толщины на стереотипность питания, которая выражается в приуроченности перфораций к определенным участкам раковины.

Целью нашего исследования стало проанализировать особенности расположения перфораций на створках *Macoma balthica* и *M. calcarea* и выяснить, какой эффект оказывает толщина на стереотипность поведения при выборе мест сверления.

Раковины *M. balthica* собраны в 2022 году с литорали Южной губы о. Ряжков. Створки *M. calcarea* взяты из дночерпательных сборов в районе Соностровской салмы (глубина 10–40 м) в 2023 году. Предположительно, особи *M. balthica* съедены натицидой *Amauropsis islandica*, особи *M. calcarea* — натицидами *Euspira pallida* и *Cryptonatica clausa*. В результате дальнейшей обработки мы расположили на «стандартной» створке облако точек, координаты которых соответствовали расположению отверстий на индивидуальных раковинах. Всего изучено 64 створки *M. balthica* и 74 створки *M. calcarea*, большинство исследованных створок находились в пределах одного размерного диапазона. Мы выяснили, что на створках обоих видов перфорации локализуются в центре. Однако среднее расстояние от центроида створки до перфораций у этих видов достоверно различается ( $t = 4,43$ ,  $df = 112,3$ ,  $p = 0,015$ ,  $t$  — значение двухвыборочного двустороннего Т-критерия), причем на створках *M. calcarea* отверстия располагались более кучно, чем на раковинах *M. balthica*. Поскольку раковины *M. calcarea* массивнее, это согласуется с изначальной гипотезой. Таким образом, эти результаты могут быть дополнительным аргументом в дискуссии о том, чем руководствуются натициды при выборе места сверления.

Исследование выполнялось при поддержке гос. задания ЗИИ РАН FMFG-2025-0021.

## Distribution of boreholes of predatory gastropods on the shells of two species of the genus *Macoma* (Lamellibranchia)

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

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

\* e-mail: ya.manylova@yandex.ru

We compared the distribution of boreholes made by naticid gastropods on the shells of two closely related species commonly found in the White Sea (*Macoma balthica* and *M. calcarea*). We suggest that the observed difference in drillings distribution densities reflects the variability in shell thickness between these species.

## Особенности поведения усонюгих рачков *Semibalanus balanoides* в Кандалакшском заливе Белого моря после длительной осушки в различных условиях

Егоров В.А.<sup>1,2\*</sup>, Аристов Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ГБОУ СОШ № 230, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция

\* e-mail: volodya-yegorov.07@mail.ru

Виды-эврибионты имеют различные механизмы, обеспечивающие широкую норму реакции. Они реализуются на уровне молекул, клеток и/или поведения организмов. Примером вида с широкой экологической валентностью является массовый вид усонюгих рачков *Semibalanus balanoides*. На литорали он претерпевает ежесуточную осушку и связанные с ней факторы. Несмотря на то, что в целом воздействие осушки на усонюгих рачков хорошо изучено, непонятно, на каком этапе пищевого и респираторного поведения этот фактор воздействует в наибольшей степени. Также остается неисследованным, может ли относительная влажность воздуха смягчать негативный эффект обсыхания, оказываемый на баянусов. Целью работы стало изучить особенности поведения усонюгих рачков *S. balanoides* после длительной осушки в различных условиях.

22 июля 2024 года на литорали острова Ряжков (Северный архипелаг, Кандалакшский залив Белого моря) незадолго до прилива собирали 12 небольших камней с рачками. Камни по 6 штук случайно распределяли в 2 экспериментальных контейнера: сухой и влажный (с тонким слоем воды на дне). Через сутки в свежую морскую воду погружали 4 камня: по 2 из сухого и влажного контейнеров. Наблюдения вели одновременно за 60 особями с помощью видеокамеры. Те же действия повторяли с баянусами, подвергавшимися осушке в два и три дня. Всего в наблюдениях участвовало 180 рачков.

Баянусы во влажных контейнерах проявляли пищевую активность даже спустя трое суток осушки, в то время как все рачки, находившиеся в сухих контейнерах, после трех суток осушки лишь приоткрывали подвижные таблички во время видеосъемки. Только на третьи сутки осушки различия в количестве «машущих» особей из сухих и влажных контейнеров оказались достоверными ( $\chi^2 = 6$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0,05$ ). Продолжительность осушки не оказывала достоверного влияния на задержку начала активных взмахов усонюжками, однако эта задержка связана с тем, находился ли баянус во влажном или в сухом контейнере ( $F = 4,32$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0,044$ ). При этом различия в среднем количестве взмахов усонюжками в минуту для всех сравниваемых групп баянусов являются недостоверными.

Полученные результаты можно трактовать так: спустя трое суток осушки баянусы не склонны проявлять пищевую активность, однако повышенная влажность смягчает негативный эффект. После менее чем трех суток осушки баянусы, находившиеся в более жестких условиях, приступают к активности скорее, однако консервативная часть поведенческого акта — частота биения усонюжками — не зависит от условий и длительности осушки.

## Features of the behavior of barnacles *Semibalanus balanoides* in the Kandalaksha Bay of the White Sea after prolonged desiccation under various conditions

Egorov V.<sup>1,2\*</sup>, Aristov D.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Secondary School №230, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, White Sea Biological Station

\* e-mail: volodya-yegorov.07@mail.ru

We studied the effect of prolonged desiccation under different conditions on the behaviour of the barnacles *Semibalanus balanoides*. It was found that the effect of desiccation and humidity was pronounced on the pre-feeding activity and negligible on the actual feeding stage (mean cirri beating rate).

## **К исследованию промысловых стад кеты *Oncorhynchus keta* при помощи техники отолитного маркирования**

*Мартынова А.С.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
e-mail: st121068@student.spbu.ru

Тихоокеанский лосось кета *Oncorhynchus keta* является главным объектом воспроизводства в странах Северной Пацифики, выпуск молоди которого превышает выпуск молоди всех остальных видов (Запорожец, 2011; Хованский, 2006). В России абсолютным лидером по выращиванию молоди кеты является Сахалинская область (Каев, 2010), однако наименее исследованным на сегодняшний день является стадо юго-западной части о. Сахалин, где масштабное строительство рыбоводных заводов развернулось лишь в последние годы, а естественным образом кета, хоть и размножается повсеместно, высокой численности не достигает ни в одном из водотоков.

Благодаря желанию восстановить популяции рыб появляется потребность в определении эффективности заводского воспроизводства и роли рыбоводных заводов в формировании промысловых стад кеты. Однозначно выявить особей заводского происхождения можно только при помощи отолитного маркирования (Зеленников и др., 2023). Суть метода состоит в создании перепадов температур в период эмбрионального развития рыб, благодаря которому на отолитах зародышей формируется «штрих-код» — рисунок из чередующихся широких и узких полос. Такой рисунок уникален для каждого предприятия и сохраняется до полового созревания (Сафроненков, 2000). Целью нашей работы являлся анализ стада кеты юго-западной части о. Сахалин при помощи техники отолитного маркирования.

Материалом для работы послужили отолиты производителей кеты, собранные осенью 2023 года на забоечных пунктах Сокольниковского, Калининского, Ясноморского и Ловецкого ЛРЗ. В лабораторных условиях отолиты очищали, монтировали на предметные стекла, шлифовали до эмбриональной зоны и выявляли метки.

При исследовании отолитов рыб с федеральных ЛРЗ доля маркированных особей составила — на Калининском 41,5 и 53,8 %, на Ясноморском — 41 %, а на Сокольниковском — 73 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что стада заводов юго-западного Сахалина имеют сборное формирование, то есть стадо составляют маркированные и немаркированные особи, среди которых могут быть рыбы от естественного нереста и рыбы с заводов, на которых продукцию не метят (частные заводы). А в стаде Ловецкого ЛРЗ в большом количестве — 29 % — присутствуют особи с меткой соседних, расположенных севернее предприятий.

Популярность воспроизводства кеты объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, молодь в течение уже первого года жизни уходит на нагул в море. Во-вторых, производители этого вида демонстрируют относительно стабильный «хоминг». Однако наши данные свидетельствуют о том, что «хоминг» кеты не является абсолютным, по крайней мере в юго-западной части Сахалина. Дальнейшие исследования позволят нам более детально выявить особенности формирования промысловых стад кеты в этом районе.

## **Research of artificial chum salmon *Oncorhynchus keta* herds with using otolith-marking method**

*Martynova A.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
e-mail: st121068@student.spbu.ru

We studied artificial chum salmon herds *Oncorhynchus keta* with otolith-marking method. This method helps exactly to reveal chum salmon individuals, who been growing on salmon hatcheries. Our research can demonstrate that “homing” phenomenon, which typical for salmon, cannot be absolute at least in south-west part of the Sakhalin Island.

## **Повторяемость миграционных остановок у белолобых гусей (*Anser albifrons*): предварительные результаты анализа GPS-треков**

Каськова К.А.<sup>1\*</sup>, Зайнагутдинова Э.М.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Независимый исследователь

\*e-mail: kseniia.kaskova@mail.ru

Одна из пяти ключевых областей в современных исследованиях миграций птиц — изучение индивидуальных историй миграции (Flack et al., 2022). Развитие GPS-мечения позволяет отслеживать вариации путей пролета и кормовых остановок в течение многих лет. Для гусей *Anser* sp. известна приверженность местам гнездования и зимовки, а также высокая повторяемость использования определенной миграционной остановки: от 38–88 % у серых гусей в Швеции (Nilsson, Persson, 1992) до 100 % у белолобых гусей в Исландии (Fox et al., 2002).

Цель работы — исследовать индивидуальную повторяемость миграционных остановок у белолобых гусей. Были проанализированы GPS-треки восьми белолобых гусей из популяции птиц, зимующих в северо-западной Европе и гнездящихся в Российской Арктике. Птицы были отловлены на зимовке в Нидерландах и на гнездовании на о. Колгуев в 2016–2018 гг. Треки предоставлены А. Kölzsch и Н. Kruckenberg (Kölzsch et al., 2019; Deng et al., 2021). Продолжительность полученных треков составляла от 2,1 до 3,3 лет. Все птицы относились к разным семьям. Были отобраны остановки длительностью не менее 48 ч. — это время, требующееся для восполнения энергетических запасов (van Wijk et al., 2012). Повторением остановки мы считали присутствие особи на расстоянии менее 50 км от центра остановки не менее чем через 40 дней после предыдущего ее посещения. Повторяемость остановок рассчитывалась как процент остановок, которые птица посетила более одного раза за период отслеживания.

Минимальная верность стоянкам (повторяемость) среди исследованных нами особей составила 9,1 %, максимальная — 36,4 %. Птицы реже возвращались на стоянки в разные сезоны (23 % повторных посещений), что, вероятно, связано с различием в качестве стоянок весной и осенью и не противоречит результатам, полученным Fox et al. (2002). Корреляционный тест не выявил значимой зависимости между значением повторяемости и продолжительностью трека (Spearman's  $\rho = -0,24$ ,  $p = 0,560$ ).

Ранние работы по этой теме опирались на данные, собранные на массовых остановках при наблюдении за птицами, мечеными ножными кольцами и цветными ошейниками. На вероятность встречи особей, меченых цветными ошейниками, влияет необъективность наблюдения, доступность и массовость стоянки, на которой проводится исследование. Преимущество нашей работы состоит в учете всех остановок, совершенных птицей. Сравнительно низкий процент повторяемости стоянок можно объяснить тем, что российский пролетный путь белолобого гуся очень широк и птицы имеют возможность останавливаться на разнообразных по условиям и доступности территориях.

## **Staging site fidelity in greater white-fronted geese (*Anser albifrons*): preliminary results of GPS tracking analysis**

Kaskova K.<sup>1\*</sup>, Zaynagutdinova E.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Independent researcher

\*e-mail: kseniia.kaskova@mail.ru

We studied staging site fidelity in greater white-fronted geese *Anser albifrons* using long-term GPS tracks. Taking into account all migration stopovers, we calculated site fidelity of eight individuals. Fidelity rate varied from 9.1% to 36.4%. Values obtained in similar studies were higher, possibly because of methodological difference and observation bias.

## Летний зоопланктон полуизолированных водоемов Белого моря

Цуканова К.Н.<sup>1\*</sup>, Иванов М.В.<sup>1</sup>, Полякова Н.В.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, Москва

\* e-mail: tsukanovaksenia03@gmail.com

Благодаря постледниковому поднятию дна на беломорском побережье сложились благоприятные условия для образования прибрежных лагун, частично изолированных водоемов. Эти акватории представляют собой промежуточный этап эволюции морского залива в опресненное озеро. Лагуны еще не потеряли связь с морем, однако характер амплитуды приливов и отливов у них уже отличается. Соответственно, здесь формируется гидрологический режим, отличный от основной акватории. Параллельно с этим изменением в лагуне происходит смена сообществ. Однако на данный момент водоемы такого типа находятся лишь на начальном этапе их изучения. В нашей работе мы решили провести исследование зоопланктонного сообщества лагун, отделенных от моря на время отлива.

Материал собран в августе 2024 в пяти лагунах, расположенных в губе Чупа, губе Кив и Вороньей губе Кандакшского залива Белого моря и находящихся на разной степени изоляции от моря. Мы выстроили их в градиенте изоляции, взяв за основу высоту порога над нулем глубин. Пробы зоопланктона отбирали малой сетью Джели вертикальной протяжкой с 3 м; с поверхности — фильтрацией 100 л воды через сеть Апштейна. Для контроля отобрали пробы зоопланктона вертикальной протяжкой в море неподалеку от лагуны.

Зоопланктон в лагунах представлен 20 таксонами, из которых подавляющее количество представителей относятся к Cladocera (3) и Copepoda (9). Также отмечены личинки книдарий, двусторчатых и брюхоногих моллюсков, усоногих раков, полихет и мшанок. Преобладающими видами по численности во всех лагунах являются *Acartia* sp. и *Oithona similis*. Мы наблюдаем тенденцию к увеличению численности с повышением степени изоляции. Так минимальная средняя численность (1500 экз./м<sup>3</sup>) отмечена в самой открытой лагуне Суханов (N66.300242°, E33.373786°), самая высокая - в наиболее изолированной, Колюшковой (N66.314057°, E33.641255°) — 9000 экз./м<sup>3</sup>. При этом линейной зависимости изменения численности от степени изоляции мы пока не наблюдаем. Надеемся, что нам удастся ее показать в дальнейшем при более систематических исследованиях. Последующее изучение полуизолированных водоемов позволит лучше понять причины этих различий и проследить поэтапное развитие морского залива в пресноводное озеро.

## Summer zooplankton of semi-isolated basins of the White Sea

Tsukanova K.<sup>1\*</sup>, Ivanov M.<sup>1</sup>, Polyakova N.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow

\* e-mail: tsukanovaksenia03@gmail.com

The paper presents the general characteristics of zooplankton community in semi-isolated lagoons of the White Sea.

## **О различиях в гаметогенезе мидий *Mytilus edulis* L. и *Mytilus trossulus* Gould в летний период (Керетский архипелаг, Белое море)**

Усипбекова Я.Г. \*, Зелеников О.В., Герасимова А.В., Марченко Ю.Т.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: usipbekovaana@gmail.com

Объекты исследования — мидии *Mytilus* — массовые обитатели прибрежий северных морей. В Белом море обитает два вида мидий: *M. edulis* (далее, МЕ) — аборигенный, и *M. trossulus* (МТ) — инвазивный, которые вступают в ограниченную гибридизацию. Считается, что инвазия МТ произошла в середине прошлого века, а период наиболее активной экспансии начался примерно 20 лет назад. Причины завоевания этим видом экологического пространства пока не ясны. Факторы, определяющие инвазивный успех МТ, могут быть связаны с особенностями репродуктивного цикла. В некоторых регионах, где МЕ и МТ сосуществуют, у них отмечали разную продолжительность нереста, различия в плодовитости и размерах ооцитов. Цель нашей работы — сравнить гаметогенез совместно обитающих беломорских мидий МЕ и МТ в нерестовый период.

Для сбора материала было выбрано смешанное поселение мидий на о. Матренин. Материал собирали на нижней литорали с июня по сентябрь 2023 года, всего было проведено восемь съемок каждые 7–14 дней. Принимая во внимание экологические и морфологические различия беломорских МЕ и МТ, сбор и первичную обработку материала осуществляли следующим образом. Заведомо половозрелых мидий собирали с разных субстратов: грунт (доминирует МЕ) и фукусы (доминирует МТ). В лаборатории мидий вскрывали и определяли морфотип. В каждую съемку отбирали 16 мидий с Т-морфотипом (характерен для МТ) и 16 мидий с Е-морфотипом (характерен для МЕ). Ткани ноги и мантии фиксировали для последующего генетического (генотипирование по диагностическому маркеру ITS) и гистологического (изготовление препаратов, определение стадий гаметогенеза) анализов. Стадии гаметогенеза определяли по шкале, предложенной Н.В. Максимовичем (1985). Полученные результаты сопоставляли с температурой поверхностной воды (данные предоставлены сотрудниками ЗИН РАН). В данную работу включены результаты четырех съемок, проведенных с 7 июня по 14 июля. Всего проанализировано 60 МЕ и 56 МТ, немногочисленные гибриды (9 %) исключены.

В начале июня при температуре воды +8,5 °С состояние гонад обоих видов в равных пропорциях соответствовало стадиям медленного и активного гаметогенеза. Через неделю, при прогреве воды выше +10 °С (триггер к нересту у мидий в данном районе), единичные особи обоих видов приступили к нересту. На данный момент исследования выявлены различия в продолжительности нерестовой стадии: к середине июля 67 % МЕ уже полностью отнерестились, в то время как 83 % МТ еще находились на стадии частичного нереста. Более растянутый во времени нерест у МТ может являться преимуществом в нестабильных условиях побережья Белого моря.

## **Differences in the gametogenesis of blue mussels *Mytilus edulis* L. and *Mytilus trossulus* Gould in summer (Keret' archipelago, White Sea)**

Ussipbekova Y. \*, Zelennikov O., Gerasimova A., Marchenko J.

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

\* e-mail: usipbekovaana@gmail.com

We studied differences in gametogenesis between *Mytilus edulis* and *M. trossulus* to identify a possible cause for the invasive success of *M. trossulus* in the White Sea. The results showed that *M. trossulus* has a longer spawning period, which may benefit them in unstable conditions of the coastal area.

## Постгляциальная палеосукцессия локального сообщества бентоса в Белом море

Башилов К.В.<sup>1\*</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: mbatakov@mail.ru

Своего максимума последнее покровное оледенение позднего плейстоцена достигает в поздневалдайском оледенении — около 20–18 тыс. лет назад. В это время скандинавский ледник охватывал весь Кольский полуостров, Балтийское и Белое моря и протирался до современных верховьев Днепра и Волги. Дальнейшая ареальная дегляциация данной территории приводит к постепенному освобождению от покровного льда сначала Псковской и Новгородской областей, а затем доходит до границ Кольского региона. Уход покровного оледенения обусловлен межстадиальными потеплениями и поднятием Балтийского щита. Материковый лед имел громадную массу, высвобождение от которой приводит к поднятию суши на Кольском полуострове, что в свою очередь привело и регрессии моря. Постепенно отступая ледник формировал береговую зону Белого моря. Климатические и геологические изменения привели к смене биологических сообществ.

В данной работе рассматривается смена бентосных сообществ в гренландском ярусе голоцена четвертичного периода на северном берегу Белого моря, обусловленная началом межледниковья, регрессией Белого моря и подъемом Балтийского щита. В ходе работы был описан разрез комплекса флювиогляциальных отложений на местонахождении, которое представляет собой карьер, расположенный 2,7 км восточнее поселка Колвица по трассе Кандалакша — Умба в Мурманской области. Из полученного разреза произведен сбор образцов. Мы рассмотрели состав остатков морской фауны, сохранившейся в отложениях, датируемых 9–6,8 тыс лет. Разрез описан на глубину 2 метра, отложения были разобраны послойно с шагом 10–15 см.

На основе полученного материала рассматриваются процессы перехода от сублиторали к литорали в раннем голоцене. Было показано, что в сублиторальных отложениях представлены хорошо прослеживаемые слои, образованные скоплениями трубок полихет, которые надежно определяются как трубки аннелид *Galathowenia oculata* (Zachs, 1923). В верхней части отложений повышается обилие двустворок рода *Portlandia*. В самой верхней части разреза отчетливо прослеживаются слои мидиевой ракуши, характерные для современных мидевых банок. Совместно с мидиями были отмечены осколки раковин *Littorina*. Выше слоя мидиевой ракуши морских отложений не обнаружено. Прослеженная палеосукцессия сублиторальных и литоральных биологических сообществ была вызвана постепенным обмелением акватории, заселенной сообществом арктических видов. Обмеление происходило за счет постгляциального подъема уровня суши. На фоне этого происходило формирование литорального плотного поселения мидий, которые лишь недавно (на момент образования отложений) заселили акваторию Белого моря.

## Postglacial paleosuccession of the local benthic community in the White Sea

Bashilov K.<sup>1\*</sup>, Khaitov V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

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

\* e-mail: mbatakov@mail.ru

The geological section located in the vicinity of Kolvitsa Bay traces the gradual transformation of the sublittoral community into a littoral one. At the initial stages, the community was represented by arctic subtidal polychaete (*Galathowenia oculata*) and clams (*Portlandia*) species. At the final stage, the intertidal mussel bed community was formed.

## Скорость фильтрации и створочная активность *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) в Губе Чупа Белого моря

Волкова М.Д.<sup>1\*</sup>, Лезин П.А.<sup>2</sup>, Лаврентьев П.Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РГПУ им. А.И. Герцена, кафедра ботаники и экологии, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: volkmariaden@yandex.ru

Двустворчатый моллюск *Arctica islandica* — самое долгоживущее неколониальное животное известное науке. Были высказаны различные гипотезы относительно неблагоприятного влияния факторов среды. При этом естественное пищевое поведение этого моллюска остается мало изученным. Целью настоящего исследования являлось определение скорости питания *A. islandica* натуральным планктоном.

Исследование было выполнено на Беломорской Биологической Станции «Картеш» в июле 2024 г. Моллюски были отобраны драгой из сублиторальных осадков вблизи о. Матренин. В лаборатории животные были разделены на 4 размерные категории и помещены в аэрируемые контейнеры с морской водой при *in situ* температуре. Скорость фильтрации была определена по изменениям флуоресценции хлорофилла «a» в контейнерах с животными и контроле. В начале и конце каждого эксперимента были собраны и зафиксированы пробы для подсчета и определения планктона. Кроме того, створочная активность нескольких особей была измерена с помощью магнитных датчиков, прикрепленных к раковинам. По окончании экспериментов была определены влажная, сухая и беззольная массы ткани моллюсков.

На основании предварительных результатов выявлена связь между скоростью фильтрации и размером моллюсков. Наибольшую среднюю скорость показали особи с высотой раковины 31,8–34,7 мм, наименьшую с высотой 9,86–14,8 мм. Полученные данные анализируются и дополняют наше знание биологии *A. islandica* в Белом море и других районах распространения этого вида.

## *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) clearance rates and gaping activity in the Chupa Inlet of the White Sea

Volkova M.<sup>1\*</sup>, Lezin P.<sup>2</sup>, Lavrentyev P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Herzen State Pedagogical University, Department of Botany and Ecology, Saint Petersburg

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

\* e-mail: volkmariaden@yandex.ru

*Arctica islandica* is the longest-lived non-colonial animal, but its natural feeding behavior remains little studied. Our experiments determined *Arctica* clearance rates on natural plankton and gaping activity. The rates increased with mollusk size. These data will expand the current knowledge of *A. islandica* biology in the White Sea and beyond.

## Эколого-биологическая характеристика *Arctica islandica* (L. 1767) (Bivalvia: Arctiidae) губы Чупа Белого моря

Кириллова С.А.<sup>1\*</sup>, Беснятых А.В.<sup>1</sup>, Евтюгин В.Г.<sup>1,2</sup>, Зелеев Р.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Междисциплинарный центр «Аналитическая микроскопия», Казань

\* e-mail: kremkova\_98@mail.ru

*Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) или Исландская циприна — атлантический субтропическо-бореальный вид двустворчатых моллюсков (Weinberg, 1994). На сегодняшний день получено достаточное количество информации по географическому распространению, биологическим, физиологическим и экологическим особенностям данного вида из акватории Атлантического и Северного Ледовитого океанов (Schone et al., 2005, Ridgway et al., 2010), однако популяции северо-восточной границы ареала — из Баренцева и Белого морей — изучены значительно хуже.

Цель данного исследования — установление размерной и возрастной структур, характера роста, а также элементного состава раковин беломорской популяции *Arctica islandica*.

Изучено 386 особей с восьми станций в акватории губы Чупа (сублитораль западной, северо-западной сторон о-ва Большой Горелый, о-в Матренин, губа Лебяжья, северо-запад о-ва Боршовец и запад о-ва Луда-Черемшиха). Регистрацию возрастных колец осуществляли как прямым наблюдением с применением различных методик световой и электронной микроскопии, так и по ацетатным репликам с протравленных соляной кислотой шлифов. Для выявления факторов, влияющих на аккумуляирование тех или иных компонентов внутренних структур раковин, проводили энергодисперсионный рентгеновский элементный микроанализ.

Оптимальным методом оценки возраста у *A. islandica* оказалось изучение шлифов раковин методом темного поля в отраженном свете с подсчетом колец нарастания.

Максимальный возраст моллюсков *A. islandica* из нашего материала составил 32 года, размер раковины — 45 мм. Большая часть выборки включала особей 5–6 лет. Преобладание среднеразмерных особей в выборке исследованной популяции *A. islandica* объясняется, вероятно, избирательностью выбранного орудия лова или определенным местом сбора, однако может сигнализировать и о неблагоприятном состоянии исследованной популяции.

Высота и толщина раковины с возрастом изменяются пропорционально для всех исследованных видов, что говорит о правильном течении онтогенеза двустворчатых моллюсков.

Анализ элементного состава не продемонстрировал вариабельности содержания обнаруженных элементов в различных участках раковины, однако, у двух исследованных особей было отмечено повышение концентрации С1 в более позднем возрасте.

## Ecological and biological characteristics of *Arctica islandica* (L. 1767) (Bivalvia: Arctiidae) of the Chupa Bay of the White Sea

Kirillova S.<sup>1\*</sup>, Bespyatykh A.<sup>1</sup>, Evtugyn V.<sup>1,2</sup>, Zeleev R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

<sup>2</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Interdisciplinary Center for Analytical Microscopy, Kazan

\* e-mail: kremkova\_98@mail.ru

The populations of the northeastern boundary of the range of the bivalve mollusks *Arctica islandica* — from the Barents and White Seas — are poorly studied. The purpose of the study was to establish the size, age structures, growth pattern, and elemental composition of shells of the White Sea population of *A. islandica*.

**Разнообразие мечниковеллид (Opisthokonta: Microsporidia) в Белом и Баренцевом морях**

Фролова Е.В.<sup>1,2\*</sup>, Райко М.П.<sup>1</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>3</sup>, Смирнов А.В.<sup>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> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

Мечниковеллиды (Metchnikovellida) — уникальная группа микроспоридий, паразитирующих в грегаринах, которые преимущественно обитают в кишечнике полихет. Первые описания мечниковеллид были сделаны в начале XX века, в том числе описания двух баренцевоморских мечниковеллид (Аверинцев, 1908; Dogiel, 1922). В начале XXI века появились первые данные о разнообразии мечниковеллид в Белом море (Rotari et al., 2015). Изучение мечниковеллид затруднено их микроскопическим размером и гиперпаразитической природой. Большое значение имеет использование высококачественной оптики для поиска зараженных грегарин и молекулярных методов для идентификации гиперпаразитов; морфологическая идентификация самих мечниковеллид возможна лишь на конечной стадии их развития (цисты, или споровые саки), наблюдать которую удается далеко не всегда.

Цель нашей работы — изучение разнообразия мечниковеллид в грегаринах из полихет разных семейств Белого и Баренцева морей.

Мы изучили мечниковеллид из литоральных (*Pygospio elegans*, *Capitella capitata* и *Alitta virens*) и сублиторальных (*Ophelia limacina*, *Travisia forbesii* и *Scoletoma fragilis*) полихет, собранных в нескольких точках Белого и Баренцева морей. Зараженных грегарин фотографировали под микроскопом, оснащенным устройством для исследования по методу дифференциально-интерференционного контраста (Номарского). Затем индивидуально изолировали зараженных грегарин для выделения геномной ДНК с последующей полногеномной амплификацией.

Для исследуемых паразитарных систем характерно присутствие нескольких видов мечниковеллид в одном суперхозяине — полихете. Отмечены случаи смешанной инфекции в субпопуляции грегарин в пределах одного червя. Так, в полихетах *P. elegans* мы обнаружили пять видов мечниковеллид: уже известные *Metchnikovella incurvata* и *M. spiralis* в эугрегарирах *Polyrhabdina pygospionis* и описанные нами *M. dogieli* и *M. dobrovolskiji* в архигрегарирах *Selenidium pygospionis* (Paskerova et al., 2016; Frolova et al., 2022), а также еще один, «криптический» вид (Frolova et al., 2023). Мы также выявили географическую приуроченность некоторых мечниковеллид. Так, *M. selenidii* встречался лишь Баренцевоморских полихетах *O. limacina*, тогда как в беломорских офелиях встречается другой, еще не описанный вид. Напротив, *Mesnilia trivisiae*, паразитирующая в архигрегарирах полихеты *Travisia forbesii*, распространена как в Белом, так и в Баренцевом морях.

Мы обнаружили не менее 12 видов мечниковеллид в Белом море и 7 видов в Баренцевом. На филогенетических деревьях эти виды формируют четыре клады, для которых не удается выявить закономерность распределения морфологических признаков. Подобная ситуация наблюдается и у более богатой и разнообразной сестринской группы «высших» микроспоридий. Для дальнейшего понимания филогении и эволюции мечниковеллид необходимо расширить географию исследования и видовой состав суперхозяев.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ № 23-74-00071. ГПП работает в рамках темы государственного задания № 125012800903-5.

**Diversity of metchnikovellids (Opisthokonta: Microsporidia) in the White and Barents Seas**

Frolova E.<sup>1,2\*</sup>, Raiko M.<sup>1</sup>, Paskerova G.<sup>3</sup>, Smirnov A.<sup>2</sup>, Nasonova E.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Saint Petersburg

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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

We studied diversity of metchnikovellids in the White and Barents Seas. In total, we found at least 12 species of metchnikovellids in the White Sea and at least 7 species in the Barents Sea. On phylogenetic trees, these species form four clades.

## Эндосимбиотические турбеллярии брюхоногих моллюсков Белого и Баренцева морей

Белолюбская К.И.<sup>1\*</sup>, Савченко А.С.<sup>1</sup>, Кремнев Г.А.<sup>2</sup>, Скобкина О.А.<sup>2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

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

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: 5beloks@gmail.com

Среди плоских червей неоднократно происходил переход к симбиотическому образу жизни. Наиболее известны и многочисленны паразиты из группы Neodermata, однако к симбиозу переходили и разные группы турбеллярий. Наше исследование посвящено представителям рода *Graffilla* (Rhabdocoela: Graffillidae), эндосимбионтам моллюсков. Наиболее хорошо изучен обитающий в морских гастроподах вид *G. buccinicola*. Эти турбеллярии локализуются в гепатопанкреасе, реже в пищеводе, желудке, кишечнике и почках моллюска, в количестве от одной до нескольких десятков особей. Они питаются полупереваренной пищей хозяина и его клетками (Jennings, Phillips, 1978). Работа посвящена изучению разных аспектов биологии этих симбиотических организмов.

Материал был собран в 2019–2024 гг. в Белом (ББС МГУ им. Н.А. Перцова, УНБ «Беломорская» СПбГУ) и Баренцевом морях (МБС ММБИ), а также в Японском море (станция «Восток»). Была вскрыта 2651 особь *Buccinum undatum*, 5 — *B. glaciale*, 24 — *B. sclarifforme*, 136 — *Neptunea despecta* (Buccinidae), 21 — *Nucella lapillus* (Muricidae), более 100 — *Margarites helicinus*, 71 — *M. groenlandicus* (Margaritidae), 698 — *Cryptonatica affinis*, 223 — *C. janthostoma* и 92 *Euspira pallida* (Naticidae). Турбеллярий изучали под световым микроскопом *in vivo*, с помощью конфокальной микроскопии, на тотальных постоянных препаратах и по сериям гистологических срезов. Проведены серии экспериментов по поведению *G. buccinicola* из моллюсков семейства Buccinidae: выявление фототаксиса, реакции на присутствие хозяина. Выполнен молекулярно-генетический анализ по фрагментам 18S рДНК и *cox1* мтДНК.

Молекулярные и морфологические данные подтвердили принадлежность турбеллярий из моллюсков *B. undatum* и *N. despecta* к виду *G. buccinicola*. Мы впервые обнаружили симбиотических турбеллярий в других видах моллюсков. Большая часть изолятов внешне напоминали *G. buccinicola*. Они не отличались по фрагменту 18S рДНК, имели небольшие различия по *cox1* мтДНК, что позволяет считать их одним видом. Существенные отличия по 18S рДНК отмечены для турбеллярий из *C. affinis* и *E. pallida*; они, вероятно, представляют собой два новых вида.

*G. buccinicola* — протерандрические гермафродиты, разные стадии их развития встречаются в одной особи моллюска. Эксперименты выявили у *G. buccinicola* отрицательную фотореакцию. Реакция на присутствие моллюска-хозяина не была обнаружена, как и выход турбеллярий в окружающую среду, так что остается непонятным, как происходит трансмиссия данных симбионтов.

## Endosymbiotic turbellarians in gastropods from the White and Barents Seas

Beloliubskaja K.<sup>1\*</sup>, Savchenko A.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>2</sup>, Skobkina O.<sup>2</sup>, Krupenko D.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

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

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: 5beloks@gmail.com

This study describes biodiversity, morphology and molecular phylogeny of endosymbiotic turbellarians from ten gastropod species. For eight of them, endosymbiotic turbellarians were documented for the first time. *Graffilla buccinicola* from *Buccinum undatum* has been studied for morphology, phylogeny and behaviour.

## Методические подходы к изучению поведения мирацидиев *Zoogonoides viviparus* (Trematoda: Zoogonidae)

Самойлова Е.В.<sup>1\*</sup>, Смирнов П.А.<sup>2,3</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2,3</sup>, Кремнев Г.А.<sup>3</sup>, Федоров Д.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> РГПУ им. А.И. Герцена, кафедра зоологии и генетики, Санкт-Петербург

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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

\* e-mail: elizavetasamojlova@gmail.com

Мирацидии — ресничные расселительные личинки трематод, осуществляющие поиск и заражение первого промежуточного хозяина, моллюска. Для этого у мирацидиев существует ряд морфологических и поведенческих приспособлений. Поведение мирацидиев исследовано у крупных личинок (100–300 мкм), тело которых состоит из нескольких десятков клеток. Незучеными остаются малоклеточные мирацидии, вылупляющиеся в окружающей среде. Такие личинки характерны для представителей семейства Zoogonidae. Так, длина мирацидия *Zoogonoides viviparus* составляет 50–70 мкм, в теле имеется только семь ядер, но такая личинка активно заражает хозяина, гастроподу *Buccinum undatum*. Пока остается непонятным, за счет каких поведенческих реакций настолько маленький активно плавающий мирацидий выполняет эту задачу. В данной работе мы отработывали методику изучения этих мирацидиев, экспериментально оценивали их поведенческие реакции и продолжительность жизни.

Сбор материала и постановка экспериментов были выполнены на ББС «Картеш» ЗИН РАН в августе 2024 г. Мариты *Z. viviparus* были получены из 12 зараженных лиманд (*Limanda limanda*) и одной речной камбалы (*Platichthys flesus*). Марит помещали в раствор Рингера, где они откладывали яйца. Для вылупления мирацидиев яйца переносили в фильтрованную морскую воду. До и во время экспериментов личинок содержали в изотермической комнате.

Для определения продолжительности жизни мирацидиев помещали в чашки Петри и наблюдали под бинокляром. С момента вылупления ежедневно записывалось количество активных личинок. Было использовано шесть мирацидиев при температуре 10 °С и девять мирацидиев при 21 °С. Продолжительность жизни *Z. viviparus* составила максимум пять часов при 21 °С и более одиннадцати часов при 10 °С.

Для выявления характера реакции на направленный свет использованы две установки: прямоугольный и круглый микроаквариумы. Источником света служил светодиодный осветитель со световодами. Для видеорегистрации использовали бинокляр МБС-10 с камерой Canon EOS 70D. Для четырех личинок выполнено семь наблюдений. Выявлены следующие типы движения: прямолинейное, зигзагообразное и винтообразное. Во время проведения экспериментов в помещении не было создано абсолютное затемнение, что могло создавать световой шум. Планируется дополнить установку светонепроницаемой ширмой. Для микроаквариумов важно, чтобы внутренняя поверхность была однотонной и нересистой, на которой личинка *Z. viviparus* остается видимой в установке, но при этом матовой, чтобы не было лишних бликов. В следующий полевой сезон мы планируем доработать установки и провести эксперименты с большим количеством повторностей.

## Methodological approaches to the study the behavior of *Zoogonoides viviparus* miracidia (Trematoda: Zoogonidae)

Samoilova E.<sup>1\*</sup>, Smirnov P.<sup>2,3</sup>, Krupenko D.<sup>2,3</sup>, Kremnev G.<sup>3</sup>, Fedorov D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Herzen State Pedagogical University, Department of Zoology and Genetic, Saint Petersburg

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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

\* e-mail: elizavetasamojlova@gmail.com

The aim of this research was to apply methodologies for studying the behavior of *Zoogonoides viviparus* miracidium larvae. We selected conditions to describe the behavior of miracidia in the presence of directional light. We determined the life expectancy of the miracidia at different temperatures.

## Реконструкция нервной системы Orthonectida

Rannonorm A.B.

Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии, Санкт-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
e-mail: septiger@yandex.ru

Ортонектиды (Orthonectida) — группа паразитов, характеризующаяся однохозяйным жизненным циклом. Он включает в себя стадию плазмодия, паразитирующего в представителях широкого круга беспозвоночных. В плазмодии формируются свободноживущие стадии: самцы, самки и образующиеся после их копуляции личинки. Последние покидают материнский организм и заражают нового хозяина.

Целью данного исследования была реконструкция строения нервной 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 *I. linei*, собирали и в последующем содержали в лаборатории. Выходящих самок фиксировали и исследовали при помощи конфокальной микроскопии (окраска глиоксиловой кислотой и окраска на серотонин и FMRF-амид). Часть самок исследовалась при помощи трансмиссионной электронной микроскопии и 3D-сканирующей электронной микроскопии. Полученные данные были проанализированы в программе Fiji и Amira. На основе полученных данных была создана 3D модель строения нервной системы.

Нервная система самки *I. linei* включает восемь серотонинергических клеток и шесть клеток, содержащих FMRF-амид. При помощи окраски глиоксиловой кислотой мне удалось выявить еще девять предположительно рецепторных клеток, расположенных в передней части самки.

На основании данных, полученных при помощи 3D-сканирующей электронной микроскопии, была создана 3D модель строения нервной системы самки вида *I. linei*. С помощью данной модели были уточнены результаты, полученные при помощи конфокальной микроскопии. Было выявлено 58 клеток (из них 24 — рецепторные клетки). Нервные клетки образуют ганглиозное скопление из 17 пар симметрично расположенных клеток. Они расположены дорсально в передней части самки (в области над 1–3 ооцитом).

Рецепторные клетки в свою очередь делятся на несколько морфогрупп. 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. Я предполагаю, 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 соответственно. Все рецепторные клетки независимо дают отростки к ганглиозному скоплению нейронов в дорсальной части самки.

Все вышесказанное позволяет говорить о нервной системе *I. linei*, как об одной из самых малоклеточных нервных систем среди Spiralia.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-24-00193 с использованием оборудования РЦ «Ресурсный центр микроскопии и микроанализа (МиМ) СПбГУ».*

## Reconstruction of the nervous system of Orthonectida

Rappoport A.

Zoological Institute RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg  
Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
e-mail: septiger@yandex.ru

The aim of this study was to analyze the nervous system of *Intoshia linei* (Orthonectida) female. Using confocal microscopy we found eight serotonin-immunoreactive and six FMRF-amide-immunoreactive cells. According to the data obtained by electron microscopy, 34 nerve and 24 cells possibly performing a receptor function were identified.

## Исследование скрытого биоразнообразия *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Петруняк А.М.<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>, Ласкова Е.П.<sup>1</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> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: aleksandrpetrunyak27@gmail.com

Rhizocephala, или корнеголовые ракообразные — это уникальная группа высокоспециализированных паразитических усоногих раков. В ходе адаптации к эндопаразитическому образу жизни ризоцефалы утратили типичный для свободноживущих Cirripedia внешний вид (в т.ч. характерную для ракообразных сегментацию), в связи с чем данные паразиты бедны морфологическими признаками, удобными для четкой видовой идентификации. В теле взрослой самки выделяют два функциональных отдела: интерну — сеть ветвящихся трофических столонов, и экстерну — мешковидную структуру, лежащую снаружи покровов хозяина и выполняющую репродуктивную функцию. Взрослые самцы редуцированы до группы сперматогенных клеток, локализованных в экстерне.

Rhizocephala паразитируют преимущественно на десятиногих ракообразных. Объект нашего исследования — *Peltogasterella gracilis* из семейства Peltogasterellidae — был отмечен в качестве паразита пяти видов раков-отшельников рода *Pagurus*, обитающих в российской части акватории Японского моря. При этом южнее *P. gracilis* обладает еще более широким кругом хозяев. Всего наш объект был обнаружен у представителей более чем 10 видов рода *Pagurus*. Большое количество хозяев, а также небольшие различия в размере экстерн и характере ветвления столонов интерны у паразитов с разных хозяев позволяют предположить наличие скрытого разнообразия. Целью нашей работы было выяснить, является ли *P. gracilis* одним видом с широким кругом хозяев или же представляет собой это группу близких видов.

Сбор материала был проведен в период с 2023 по 2024 год на морской биологической станции «Восток» ННЦМБ ДВО РАН. В настоящий момент мы выделили ДНК из более чем 50 образцов *Peltogasterella gracilis*, обнаруженных в *Pagurus middendorffii*, *P. gracilipes*, *P. ochotensis*, *P. proximus* и *P. pectinatus*. Нами было проведено секвенирование фрагмента митохондриального гена *cox1*, а также участка 18S рДНК для каждого паразита из трех видов хозяев: *P. middendorffii*, *P. pectinatus* и *P. gracilipes*. Филогенетические деревья были построены методом Байесовского анализа при помощи программы MrBayes. Кроме того, для подтверждения видовой принадлежности хозяев, мы также планируем провести секвенирование фрагментов 18S рДНК, полученных из мышц раков-отшельников.

Нами было обнаружено, что в последовательности 18S рДНК у особи паразита из *P. gracilipes* присутствуют две нуклеотидные замены, по сравнению с паразитами из *P. pectinatus* и *P. middendorffii*. Найденная изменчивость скорее всего имеет внутривидовой характер, однако для более точного анализа мы планируем изучить фрагменты митохондриальных генов (12S и 16S рРНК, а также *cox1*).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-24-00133.

## Cryptic diversity of *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Petruniak A.<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>, Laskova E.<sup>1</sup>, Miroljubov A.<sup>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

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: aleksandrpetrunyak27@gmail.com

Rhizocephala is a unique group of highly specialised parasitic crustaceans infesting decapods. Cryptic species are abundant within this group. In this study, we tested *Peltogasterella gracilis* from different host species for cryptic diversity through 18S rDNA and *cox1* gene sequencing.

## Анализ популяционно-генетической структуры скребней *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae) на севере Палеарктики

Унтилова А.А.<sup>1,2\*</sup>, Дюмина А.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: nasta.untik@gmail.com

На севере Палеарктики распространены сложные паразитарные системы, включающие популяции окончательных хозяев — морских перелетных птиц, и промежуточных — бентосных беспозвоночных. Дальние миграции птиц позволяют паразитам расселяться и формировать комплекс удаленных очагов инвазии на больших территориях. Популяции таких паразитов, в частности скребней *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae), — удобный объект исследования механизмов видообразования. Для других полиморфов показана высокая внутривидовая изменчивость по маркеру COI, однако пространственное перераспределение гаплотипов варьирует от агрегированного (вплоть до формирования криптических видов) до равномерного. Равномерному распределению способствует использование в качестве промежуточных хозяев подвижных, крупных, долгоживущих Decapoda; именно такой спектр хозяев у *P. botulus*.

В анализ нами были включены последовательности COI от особей из районов миграции трех европейских популяций *Somateria molissima* (42 последовательности из GenBank и 33 оригинальных, длина выравнивания 365 bp) и одной североамериканской, а также от *S. spectabilis* с побережья Печорского моря. Скребни гаг популяции Североморского бассейна представлены цистакантами от нидерландских *Carcinus maenas* и *Hemigraspus* spp., а также адультиными особями от датских *S. molissima*; Баренцево-Беломорского — цистакантами от *Pagurus pubescens* и *Hyas araneus* и адультиными — от *S. molissima* (Печорское море); бассейна Норвежского моря — особями от исландских *S. molissima*. Сеть гаплотипов построена в PopART методом median joining.

Как и для других исследованных представителей рода *Profilicollis*, для *P. botulus* характерно высокое разнообразие гаплотипов ( $Hd = 0,97$ ) при низком нуклеотидном разнообразии ( $\pi = 0.0096$ ) и отрицательное статистически значимое значение Tajima's D (-2,26), что может отражать недавний резкий прирост численности. Соседние гаплотипы чаще отделены 1–2 нуклеотидными заменами, максимальное число замен — 5. Различные гаплотипы были встречены в одной особи *H. araneus*. Центрального гаплотипа не выделяется, а четыре доминирующих включают изоляты из разных локаций. Приуроченности гаплотипов к видам промежуточных хозяев также не обнаружено, что противоречит устоявшимся представлениям о высокой специфичности скребней к промежуточным хозяевам, но согласуется с литературными данными по *P. altmani*.

Таким образом, исследуемая популяция *P. botulus* является компонентом паразитарной системы, включающей минимум три европейских популяции *S. molissima* (и, возможно, — одну североамериканскую) и одну — *S. spectabilis*. При этом популяция не обладает выраженной географической структурой, а тенденция к специализации к разным видам промежуточных хозяев не выявлена.

Работа выполнена на базе ЗИИ РАН и РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» за счет средств гранта РФФИ № 23-14-00329 и гос. задания «Паразиты животных и растений — видовое разнообразие, эволюция и пути трансмиссии в естественных и антропогенных ландшафтах» № 125012800903-5.

## Analysis of the population-genetic structure of acanthocephalans *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae) from Northern Palearctic

Untilova A.<sup>1,2\*</sup>, Diumina A.<sup>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

\* e-mail: nasta.untik@gmail.com

We studied the population genetic structure of *Profilicollis botulus* by analyzing the variability of COI sequences. We suppose that the population in the studied region is homogeneous, and also that there is probably a gene exchange between the North American and European populations.

## Разнообразие динофлагеллят рода *Haplozoon*. Анализ паразитологической коллекции В.А. Догеля

Прилуцкий М.Е.<sup>1\*</sup>, Шаповал Г.Н.<sup>2</sup>, Шаповал Н.А.<sup>2</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, лаборатория цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: mhl981622@gmail.com, GitaPaskerova@zin.ru

Динофлагелляты — одноклеточные организмы, которые наиболее известны как представители морского фитопланктона. Разнообразие свободноживущих форм хорошо изучено, а их таксономия во многом определена. В противоположность этому морфология и биология паразитических динофлагеллят изучены неоднородно, крайне фрагментарно, а их филогенетические связи со свободноживущими динофлагеллятами зачастую не определены.

Род *Haplozoon* Dogiel, 1906 насчитывает 17 видов кишечных паразитов полихет. Большинство представителей рода были описаны профессором Санкт-Петербургского Императорского университета В.А. Догелем (1906, 1910). Подготовленные им постоянные препараты, ставшие основой для описания видов гаплогозонов, сохранились в коллекции кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ. Гаплогозоны обладают рядом черт, не типичных для динофлагеллят. Для них характерна функциональная многоклеточность: зрелая многоядерная клетка разделена на ряды гетерономных компартментов, взаимное расположение которых различается у видов. До сих пор неизвестны принципы образования стробилоподобных тел у гаплогозонов из изначально просто организованной одноядерной клетки. Также неясно, имеется ли закономерность в распределении морфологических особенностей организации паразитов в молекулярно-филогенетических построениях.

Цель нашего исследования — анализ строения стробил и выяснение их филогенетического значения у представителей рода *Haplozoon*.

Мы изучили препараты из паразитологической коллекции В.А. Догеля с помощью методов современной высокоразрешающей световой микроскопии и привлекли данные из литературы (Догель, 1906, 1910; Leander et al., 2002; Rueckert, Leander, 2008; Wakeman et al., 2018; Yamamoto et al., 2020; и др.). Нами был выявлен ряд закономерностей образования и взаимного расположения компартментов в стробилах *Haplozoon*. Стереометрия стробил гаплогозонов определяется: (а) ориентацией перегородок между компартментами, (б) ориентацией делящихся ядер и (в) соотношением скорости деления ядер головного и дистальных компартментов. В результате компартменты могут быть расположены в один ряд (например, *H. lineare*, *H. minutum*), много рядов в один (*H. axiothellae*, *H. praxillellae*, *H. delicatulum*, *H. aricia*, *H. armatum*) или несколько слоев (*H. obscurum*, *H. macrostylum*).

Для всех представленных на препаратах гаплогозонов мы определили набор видоспецифических (морфологических и морфометрических) признаков, установили голотипы и/или синтип. Кроме того, мы впервые получили молекулярные данные (последовательности генов 18S и 28S рРНК) по типовому виду *H. armatum*, паразиту полихеты *Travisia forbesii* из Белого моря. Полученные нами морфологические и молекулярные данные существенно дополняют описание представителей рода *Haplozoon* и позволяют провести таксономическую и филогенетическую ревизию рода.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800903-5.

## Diversity of dinoflagellates of the genus *Haplozoon*. Analysis of the parasitological collection of V.A. Dogiel

Prilutsky M.<sup>1\*</sup>, Shapoval G.<sup>2</sup>, Shapoval N.<sup>2</sup>, Paskerova G.<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Insect Taxonomy, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

<sup>4</sup> Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: mhl981622@gmail.com, GitaPaskerova@zin.ru

*Haplozoon* are parasitic dinoflagellates that are still poorly understood. The parasite cell is a compartmentalized syncytium; species differ in the number of rows of the compartments. We studied the cell structure in a number of species and related it to the phylogeny of the genus *Haplozoon*.

## The first record of *Rockacestus piriei* (Cestoda: Phylobothriidea) in the White Sea

Logvinenko A.<sup>1,2\*</sup>, Gordeev I.<sup>1,3</sup>, Biserova N.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov MSU Marine Research Center, Moscow

<sup>3</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow

\* e-mail: andreylogv@yandex.ru

Plerocercoids are one of the larval stages of cestodes usually lacking enough set of morphological traits helpful for their identification to the species or genus level. Recent development of the genetic methods allows linking the larvae with adult organisms. In the White Sea, phylobothriid plerocercoids with red neck pigmentation have been recorded in the intestines of many teleost fish species. However, they have never been in focus of the molecular genetic studies yet. In 2021–2023 plerocercoids were collected from threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* and White Sea cod *Gadus morhua marisalbi* in the vicinity of the MSU White Sea Biological Station (WSBS) and WSBS “Kartesh” of the Zoological Institute RAS. Plerocercoids were identified through 28S rDNA and *cox1* gene sequencing followed by comparison with available sequences from GenBank (NCBI). Scanning and transmission electron microscopy were also used to describe gross and fine morphology.

The prevalence of plerocercoid in threespine stickleback were 50% in 2021, 20% in 2022, and 8.24% in 2023. The prevalence for cod was 14.3% in 2022. Matching of *cox1* sequences with the available ones in GenBank (NCBI) showed low sequence identity (per. ident 79.1% with 100% coverage). 28S rDNA sequences showed good resemblance (per. ident 99.66%, one nucleotide substitution in one of our three sequences) with *Rockacestus piriei* (GenBank number MH688721, found in the type host and location; Beer et al., 2018). Thus, we can consider this work as the first record of *R. piriei* in the White Sea. This species was described from cuckoo ray *Leucoraja naevus* from the North Sea (Williams, 1968). The significant geographical distance between the original description locality and our finding, along with the fact that *L. naevus* does not occur in the White Sea, raises interesting questions about the species distribution and host specificity.

On TEM photographs there were four lateral bothridia with two lacunas each, as well as apical fossa. Microtriches had the same shape and size along the studied areas of the larval body. All microtriches belonged to the same type and were not differentiated into stiffer fixatory microtriches characteristic of scolexes or longer and thinner trophic microtriches known for strobila. The uniformity of microtriches ultrastructure is confirmed by SEM data.

It will be interesting to see if this is definitely the species described by Williams (1968), or a related one in the same genus. For this purpose, the adult stage of these cestodes should be found, identified and determined by morphological features.

## Видовое и внутривидовое разнообразие трематод рода *Podocotyle* (Opencolidae, Digenea) в северной Палеарктике

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

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: igorevna1864@mail.ru

Опелелиды (Opencolidae) — самое богатое видами семейство трематод в морской среде (Cribb et al., 2021). В морях северной Атлантики, Арктики и северной Пацифики широко распространены виды рода *Podocotyle*. Эти паразиты используют рыб как окончательных хозяев, моллюсков *Littorina* и *Lacuna* как первых промежуточных, и различных ракообразных — как вторых промежуточных. Видовое разнообразие *Podocotyle* в Палеарктике недостаточно хорошо изучено, и жизненные циклы некоторых видов остаются неизвестными (Krupenko et al., 2024).

Нам удалось определить, что в морях Северной Европы обитают четыре вида *Podocotyle*: *P. atomon*, *P. odhneri*, *P. reflexa* и *Podocotyle* sp. WS. Последний из этих видов включает образцы только из Белого моря и только из первых промежуточных хозяев (три вида р. *Littorina*). Работа с изолятами из Охотского и Японского моря показала, что в дальневосточных морях обитает еще по крайней мере шесть других видов рода *Podocotyle*.

Оценив разнообразие *Podocotyle*, мы далее попытались выяснить филогенетические отношения между видами этого рода, а также исследовать внутривидовую изменчивость. Для этого мы использовали молекулярно-генетические методы: амплифицировали и секвенировали фрагмент варибельного маркера *cox1* для пяти видов рода *Podocotyle* из разных географических точек: *P. atomon* (Белое, Баренцево, Печорское, Северное и Балтийское моря), *P. odhneri* (Белое и Печорское море), *P. reflexa* (Белое, Баренцево, Печорское море), *Podocotyle* sp. WS (Белое море), для трех еще не описанных видов *Podocotyle* из Охотского моря и трех — из Японского. Мы получили 110 последовательностей фрагмента гена *cox1* длиной 732–907 п.н. Эти данные использовали для построения сетей гаплотипов и филогенетического дерева.

В сеть гаплотипов для *P. atomon* (*cox1*, 664 п.н.) вошло 75 наших образцов (из окончательных хозяев, из моллюсков *L. saxatilis* и *L. obtusata*). Анализ сети гаплотипов показывает, что формируется несколько локальных очагов трансмиссии *P. atomon*: в каждом исследуемом регионе выявляются доминирующие гаплотипы и несколько близких к ним. При этом доминирующие гаплотипы близки и не строго приурочены к тому или иному региону, что говорит о циркуляции *P. atomon* между ними (за исключением Печорского моря). Относительно обособлены некоторые изоляты из Белого моря, а также отдельно группируются практически все образцы *P. atomon* из *L. obtusata*. Эти паттерны, а также особенности внутривидовой изменчивости других видов *Podocotyle* и их филогенетические взаимоотношения будут более подробно освещены в докладе.

Работа поддержана грантом РФФ № 23-14-00329; секвенирование выполнено в Научном парке СПбГУ (ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий»).

## Interspecific and intraspecific diversity of trematodes of the genus *Podocotyle* (Opencolidae, Digenea) in the Northern Palearctic

Sokolova A.<sup>1\*</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Gubler A.<sup>2</sup>, Kremnev G.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>1,2</sup>, Skobkina O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

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

\* e-mail: igorevna1864@mail.ru

We investigated the species-level diversity and genetic variability within the genus *Podocotyle*. For *P. atomon*, we have shown that there is local circulation in all regions of its distribution, but there is also some interchange between populations from different regions. We also estimated the phylogenetic relationships among *Podocotyle* species.

## Биогеография *Hemiurus levinseni* (Digenea, Hemiuridae)

Гублер А.Г.<sup>1\*</sup>, Кремнев Г.А.<sup>2</sup>, Скобкина О.А.<sup>3</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1,2</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> Институт цитологии РАН, лаборатория цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

История формирования морских экосистем Арктики, северной Атлантики и северной Пацифики сложна и связана с периодами климатических изменений в плейстоцене и голоцене — сменой ледниковых эпох межледниковьями, которые приводили к изменению уровня моря, температурного режима, открытию и закрытию Берингова пролива и изоляции популяций. Поскольку ареал обитания паразитов с многохозяйными жизненными циклами ограничен ареалом обитания их хозяев, изучение трансарктических миграций трематод представляет особый интерес для биогеографии и экологии.

*Hemiurus levinseni* (Digenea, Hemiuridae) — это вид паразитических плоских червей, распространенный по всему северному полушарию и заражающий широкий круг окончательных хозяев. *H. levinseni* обладает сложным жизненным циклом с чередованием партеногенетического и полового поколений. В качестве первого промежуточного хозяина выступает гастропода *Cylichna alba*, в которой размножаются партениты. Церкарии, личинки гермафродитного поколения, заражают планктонных копепод. Для *H. levinseni* характерна низкая специфичность по отношению к окончательному хозяину: мариты заражают около ста видов морских и проходных костных рыб из разных семейств. Циркумпольное распространение и широкий круг окончательных хозяев — это признаки системы криптических видов.

Целью данного исследования стало изучение особенностей миграций трематод вида *H. levinseni* в Арктике, северной Атлантике и северной Пацифике. Для реализации этой цели мы поставили следующие задачи: уточнить видовой статус *H. levinseni*, исследовать генетическую структуру популяций *H. levinseni* и реконструировать генетические связи между популяциями разных регионов. Для решения поставленных задач мы используем стандартный филогеографический метод — анализ молекулярных маркерных последовательностей (28S рДНК, ITS2, *cox1*, *nad1*).

С 2020 по 2024 год нами был получен материал из Белого, Баренцева, Печорского, Восточно-Сибирского, Берингова, Охотского и Японского морей. В настоящий момент мы получили 68 последовательностей фрагмента гена цитохромоксидазы (*cox1*) от марит из окончательных хозяев, принадлежащих к разным семействам рыб и выловленных в семи географически удаленных точках. Генетические различия не превышают 15 точечных мутаций, что значительно меньше порога межвидовой изменчивости. Выявлено 44 гаплотипа, однако ни географических, ни экологических групп обнаружить не удалось. Основываясь на полученных данных, мы предполагаем, что вид *H. levinseni* является настоящим видом, а не комплексом криптических видов, кроме того, между удаленными популяциями существует поток генов. В дальнейшем планируется подтвердить эти выводы, включив в анализ новые молекулярные маркеры (ITS2, 28S рДНК, *nadh1*).

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

## Biogeography of *Hemiurus levinseni* (Digenea, Hemiuridae).

Gubler A.<sup>1\*</sup>, Kremnev G.<sup>2</sup>, Skobkina O.<sup>3</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<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

<sup>3</sup> Institute of Cytology RAS, Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Saint Petersburg

\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

Our research focuses on phylogeography of *Hemiurus levinseni* — circumpolar hemiurid species with a complex life cycle. We analysed 68 *cox1* sequences and showed that *H. levinseni* is apparently an actual species, not a system of cryptic species. We also confirmed a gene flow across the distant populations.

## Сезон или температура: что обуславливает эмиссию церкарий трематод в Белом море?

Федоров Д.Д.<sup>1\*</sup>, Левакин И.А.<sup>1</sup>, Николаев К.Е.<sup>2</sup>, Аристов Д.А.<sup>2</sup>, Галактионов К.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

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

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

Эмиссия церкарий (личинок гермафродитного поколения трематод) — это процесс, обеспечивающий длительный выход и распространение инвазионного начала в окружающей среде, определяющийся рядом факторов, ключевыми из которых считаются температура и освещенность (Theron, 2015; Прокофьев и др., 2020). Несмотря на важность этого этапа для успешной реализации жизненного цикла трематод, данные по длительной эмиссии церкарий в прибрежных морских экосистемах при разных температурах и в разные сезоны года в литературе фактически отсутствуют.

Мы оценили динамику эмиссии церкарий *Himasthla elongata* (сем. Himasthlidae) из литоральных моллюсков *Littorina littorea*, в весенний (июнь–июль), летний (июль–август) и осенний (сентябрь–октябрь) гидрологические сезоны, при постоянных температурах воды: низкая (8 °C, 10 °C, 12 °C) и высокая (14 °C, 16 °C, 18 °C). По 10 зараженных литторин экспонировали в каждой градации температур, для каждого сезона собирали новых моллюсков (всего 180 зараженных особей). Подсчет личинок проводился ежедневно в течение 30 дней.

Влияние факторов «сезон» (весенний, летний и осенний) и «температура» (высокая, низкая) на динамику эмиссии церкарий моделировали с помощью криволинейной регрессии (GAM). Оказалось, что сезон ( $\chi^2 = 23,09$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,0001$ ) и температура ( $\chi^2 = 30,76$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,0001$ ), а также их взаимодействие ( $\chi^2 = 267,52$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,0001$ ) значительно влияют на характер эмиссии церкарий *H. elongata*. Наибольшее количество личинок наблюдалось весной и летом при высоких температурах (в среднем  $438 \pm 35$  и  $491 \pm 30$  церкарий в сутки), а наименьшее — весной при низких температурах (в среднем  $13 \pm 2$  церкарий в сутки). Полученные данные свидетельствуют о том, что не только температура обуславливает процесс выхода церкарий, но и сезон. Вероятно, это может быть связано с динамикой развития группировок парthenит в моллюске-хозяине, а также изменениями в их функциональной активности, обусловленными температурой.

Работа выполнена на ББС ЗИН РАН «Картеш», при поддержке гранта РФФИ № 23-14-00329 и темы гос. заданий «Паразиты животных и растений — видовое разнообразие, эволюция и пути трансмиссии в естественных и антропогенных ландшафтах» № 125012800903-5 и «Структура, биоразнообразие и функционирование экосистем морей Арктического бассейна в условиях меняющегося климата» № 125012800889-2.

## Season or temperature, what determines the emission of trematode cercariae in the White Sea?

Fedorov D.<sup>1\*</sup>, Levakin I.<sup>1</sup>, Nikolaev K.<sup>2</sup>, Aristov D.<sup>2</sup>, Galaktionov K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, White Sea biological station

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

We modelled the emission of *Himasthla elongata* cercariae (Digenea, Himasthlidae) from the periwinkles *Littorina littorea* in spring, summer and fall seasons, at different water temperature. Both the season and temperature impacted the emission of cercariae, that is probably related to changes in the composition of parthenite infracommunities in the mollusks.

## Связанные с транспозонами длинные некодирующие РНК в транскриптоме трематоды *Himasthla elongata*

Габдрахманова М.С.<sup>1,2\*</sup>, Соловьева А.И.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: m.gabdrakhmanova2020@gmail.com

Длинные некодирующие РНК (нкРНК) в клетке выступают в качестве регуляторов генной экспрессии, а также принимают участие во многих других процессах. Их изучение осложняется низким уровнем экспрессии и нестабильностью молекул. Известно также о связи длинных нкРНК с мобильными элементами (транспозонами). Мобильные элементы — это диспергированные повторяющиеся последовательности, потенциально способные перемещаться в геноме. Считается, что транспозоны являются источником функциональных доменов длинных нкРНК. Целью настоящей работы был поиск связи между длинными нкРНК и транспозонами трематод четырех видов: *Himasthla elongata*, *Fasciola gigantica*, *Fasciola hepatica* и *Schistosoma mansoni*.

При помощи методов биоинформатики мы провели сравнение транспозонов трематоды *H. elongata* и длинных нкРНК других трех видов трематод (*F. gigantica*, *F. hepatica*, *S. mansoni*). Наибольшее количество (56,4 %) совпадающих с повторами *H. elongata* длинных нкРНК было выявлено в транскриптоме *F. gigantica*, наименьшее (0,8 %) — в транскриптоме *F. hepatica*. Совпавшие с повторами длинные нкРНК *F. gigantica*, *F. hepatica* и *S. mansoni* (всего 6176 последовательностей) стали базой для поиска длинных нкРНК в транскриптоме *H. elongata*. Далее мы разделили найденные длинные нкРНК длиной более 200 пн на две группы: «истинно пустые» последовательности (РНК длиной более 200 п. н., не несущие информацию о белках) (73 %) и последовательности, кодирующие гены домашнего хозяйства (2,3 %). В отдельную категорию были отнесены последовательности, в которых идентифицируются домены мобильных элементов и вирусос (24,7 % от общего числа длинных нкРНК).

Ранее длинные нкРНК приписывали высокий уровень видоспецифичности, но нам удалось обнаружить некий консерватизм длинных нкРНК между видами. При этом связь длинных нкРНК и мобильных элементов в транскриптом трематод не изучена до конца и требует дальнейших исследований.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ № 23-74-01060.

## Transposon-associated long non-coding RNAs in *Himasthla elongata* transcriptome

Gabdrakhmanova M.<sup>1,2\*</sup>, Solovyeva A.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Saint Petersburg

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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

\* e-mail: m.gabdrakhmanova2020@gmail.com

We studied transcriptomes of *Himasthla elongata*, *Fasciola gigantica*, *F. hepatica* and *Schistosoma mansoni* in order to find relations between long non-coding RNAs and transposable elements of these species. As a result, we discovered a kind of conservatism between lncRNAs of mentioned species even though lncRNAs was previously considered highly species-specific.

## **Организация яйцевой трубки эндопаразитической копеподы *Nucellicola* sp. (Copepoda: Chitonophilidae)**

*Еньшина И.К. \*, Савченко А.С.*

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

\* e-mail: ienshina1458@gmail.com

Веслоногие раки из рода *Nucellicola* Lamb, Vothshall, Mill & Grahame 1996 относятся к небольшому семейству Chitonophilidae, филогенетическое положение которого среди копепод остается не до конца определенным. Большинство известных хитонофилид являются мезопаразитами хитонов; однако род *Nucellicola* включает эндопаразитов брюхоногих моллюсков — сильно трансформированных организмов, практически полностью лишенных морфологических характеристик ракообразных.

Взрослые особи *Nucellicola* spp. раздельнополы и обитают в гемоцеле висцерального мешка гастропод. Тело самки разделено на трофический и репродуктивный отделы. Поскольку взрослые самки лишены пищеварительной системы, предполагается, что поверхность сильно разветвленного трофического отдела используется для поглощения питательных веществ из организма хозяина. Наши прошлые исследования также показали, что трофический отдел формирует яйцевую трубку — уникальную структуру для вынашивания потомства, которая ранее трактовалась как неклеточная оболочка вокруг эмбрионов.

Яйцевая трубка — это часть трофического отдела, преобразованная в тонкостенную трубчатую структуру, внутри которой располагается сам репродуктивный отдел, а также развивающиеся эмбрионы паразита. От внешней поверхности яйцевой трубки отходит множество столонов. Таким образом, яйцевая трубка выполняет сразу несколько функций: поглощение и транспорт питательных веществ, а также вынашивание и выведение потомства.

Стенка яйцевой трубки состоит из гиподермальных клеток, мышечных клеток, а также системы лакун, заполненных неклеточным содержимым. Данные лакуны связаны с лакунарной системой трофических столонов и, по-видимому, обеспечивают транспорт питательных веществ в трофическом отделе. Мышечные клетки формируют отростки, которые несут сократимые элементы, располагающиеся в продольном, кольцевом и радиальном направлениях. Гиподермальные клетки внешней стенки яйцевой трубки преобразованы в сухожильные клетки: их цитоплазма заполнена множеством микротрубочек, которые соединяют сократимые элементы подлежащих мышечных клеток с кутикулой.

В строении кутикулы яйцевой трубки прослеживаются адаптации, свойственные паразитическим ракообразным, перешедшим к питанию через поверхность тела: она двухслойная и формирует микровыросты, направленные в гемоцель хозяина. Под кутикулой находится субкутикулярное пространство, где располагаются микровилли гиподермальных клеток.

Представители рода *Nucellicola* sp. являются примером крайне трансформированных ракообразных. Дальнейшее изучение строения подобных представителей позволит лучше понять эволюцию различных систем в организме ракообразных при адаптации к паразитизму.

## **Organisation of the egg tube of the endoparasitic copepod *Nucellicola* sp. (Copepoda: Chitonophilidae)**

*Enshina I. \*, Savchenko A.*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: ienshina1458@gmail.com

We describe the structure of the egg tube in endoparasitic copepods *Nucellicola* sp., which is used for brooding and release of offspring from the host body as well as for the absorption and transport of nutrients.

## **Воздействие заражения микрофаллидными трематодами (*Digenea*, *Microphallidae*) на содержание нейромедиаторов в тканях моллюсков-литторин (*Gastropoda*, *Littorinidae*)**

Шапако К.С.<sup>1\*</sup>, Казанская Р.Б.<sup>1,2</sup>, Лопачев А.В.<sup>2</sup>, Абаимов Д.А.<sup>3</sup>, Кочергина Н.А.<sup>1,4</sup>, Ларионова А.А.<sup>1</sup>, Гранович А.И.<sup>1</sup>, Репкин Е.А.<sup>1,5\*</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, институт трансляционной биомедицины, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Научный центр неврологии, Москва

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Ресурсный центр «ЦКП Хромас», Санкт-Петербург

<sup>5</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий», Санкт-Петербург

\* e-mail: kshapako@gmail.com, erepkin53@gmail.com

Микрофаллидные трематоды — широко распространенные паразиты моллюсков-литторин на побережьях морей Северной Европы. Одним из примечательных эффектов заражения данными паразитами является изменение поведения и подвижности улиток — зараженные особи не покидают поверхности камней и водорослей в отлив, что делает таких литторин легкой добычей для птиц — окончательных хозяев микрофаллид (Галактионов, 1993; McCarthy et al., 2000). Механизмы подобного воздействия паразита на поведение моллюска до сих пор остаются неизвестными.

В ходе данного исследования мы проанализировали содержание ряда ключевых нейромедиаторов и их метаболитов, отвечающих за локомоцию гастропод, в тканях зараженных трематодами *Microphallus pygmaeus* литторин. Зараженные и здоровые моллюски двух видов (*Littorina saxatilis* и *L. obtusata*) были собраны на побережье Белого моря. Голова и нога каждой особи были зафиксированы индивидуально в жидком азоте и хранились до проведения исследования в лаборатории. С помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с электрохимическим детектированием было количественно проанализировано содержание дофамина (DA), норадреналина (NA), серотонина (5-НТ), 5-гидроксииндолуксусной кислоты (5-НИАА) в тканях головы и ноги моллюсков. В случае *L. saxatilis* не выявлено достоверных отличий в содержании какого-либо из проанализированных соединений. В то же время для зараженных особей *L. obtusata* показано достоверное повышение количества норадреналина, а также изменение интенсивности метаболизма серотонина (оцененное по соотношению 5-НИАА/5-НТ).

Полученные результаты демонстрируют один из возможных путей воздействия трематод на поведение хозяина-моллюска. Примечательно, что отличия наблюдаются только для одного из видов моллюсков, *L. obtusata*, в то время как для *L. saxatilis* различий не выявлено. Это может говорить о специфичности влияния паразита на организмы разных видов литторин, а также о тонкой подстройке механизмов взаимодействия в системах паразит-хозяин, в том числе образованных близкородственными видами моллюсков.

Исследование выполнено с использованием ресурсов и оборудования РЦ РМукТ СПбГУ, МБС СПбГУ и ФГБНУ НЦН.

## **The influence of microphallid trematodes (*Digenea*, *Microphallidae*) on the neurotransmitter content in periwinkles tissues (*Gastropoda*, *Littorinidae*)**

Shapako K.<sup>1\*</sup>, Kazanskaya R.<sup>1,2</sup>, Lopachev A.<sup>2</sup>, Abaimov D.<sup>3</sup>, Kochergina N.<sup>1,4</sup>, Larionova A.<sup>1</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>, Repkin E.<sup>1,5\*</sup>

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Institute of Translational Biomedicine, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Research Centre of Neurology, Moscow

<sup>4</sup> Saint Petersburg State University, Chromas Core Facility, Saint Petersburg

<sup>5</sup> Saint Petersburg State University, Centre for Molecular and Cell Technologies, Saint Petersburg

\* e-mail: kshapako@gmail.com, erepkin53@gmail.com

In this study, a quantitative analysis of the content of neurotransmitters (serotonin, dopamine) and their metabolites in the tissues of periwinkles (*Littorina saxatilis*, *L. obtusata*) in connection with trematode (*Microphallus pygmaeus*) infection was carried out. Changes have been identified for the *L. obtusata*, but not for the *L. saxatilis* snails.

### Участие канонического Wnt/ $\beta$ -катенинового сигналинга в паттернировании зародышей аннелид с разными типами дробления и гастрюляции

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

Изучение осевых отношений остается одним из ключевых вопросов в биологии развития. Превращение радиально симметричного зародыша в билатерально симметричный организм является сложным процессом, в который вовлечены разнообразные механизмы. Одним из компонентов, принимающих участие в осевой спецификации является  $\beta$ -катенин и связанный с ним канонический Wnt-сигналинг. На различных беспозвоночных животных было показано, что в процессе дробления он вовлечен в паттернирование анимально-вегетативной оси и спецификацию зародышевых листков, у позвоночных  $\beta$ -катенин принимает участие в определении дорсо-вентральной оси, но не анимально-вегетативной.

Для понимания анцестральности роли  $\beta$ -катенина в раннем развитии необходимо изучать его роль на представителях различных ветвей Bilateria. Основной массив известных данных был получен на вторичноротых животных. Сведения о роли  $\beta$ -катенина в раннем развитии Spiralia фрагментарны. При этом представители спиральных животных демонстрируют разнообразные типы развития. Различия наблюдаются как в паттернах дробления (равномерное — гомоквадрантное и неравномерное — гетероквадрантное), так и в механизмах гастрюляции (инвагинация или эпиболия). При этом, вероятно, могут различаться механизмы спецификации клеток. Для прояснения роли  $\beta$ -катенина в развитии спиральных животных необходимо сравнение его функций у животных, демонстрирующих контрастные паттерны развития.

Целью данной работы является сравнение роли Wnt/ $\beta$ -катенинового сигналинга в развитии у аннелид с различными типами развития. Для этого были выбраны два вида: *Alitta virens* (с гетероквадрантным дроблением) и *Ophelia limacina* (с гомоквадрантным дроблением). Для определения функции Wnt-сигналинга применялся ингибиторный анализ: зародышей обрабатывали во время дробления фармакологическими агентами, которые гиперактивировали или подавляли Wnt-сигналинг. После этого зародышей отмывали от ингибиторов и анализировали.

Обработка зародышей модуляторами показала, что у обоих видов  $\beta$ -катенин участвует в спецификации клеток. При подавлении  $\beta$ -катенина у зародышей *O. limacina* формировались объекты с аномально большим количеством ресничек и без пищеварительной системы, тогда как гиперактивация либо приводила к экзогастрюляции, либо полностью блокировала гастрюляцию. Это свидетельствует об участии  $\beta$ -катенина в спецификации клеток, что выражается в сегрегации зародышевых листков. У зародышей *A. virens* модуляция приводила к неправильному морфогенезу вентральной стороны тела, что также является следствием неправильной идентичности клеток, однако истинной вегетализации не происходило.

Полученные результаты свидетельствуют о консерватизме функций канонического Wnt-сигналинга в раннем развитии аннелид. Тем не менее, существуют отличия, коррелирующие с типом развития, о чем свидетельствуют отличающиеся результаты экспериментов на двух видах. Это указывает на вероятные различия в механизмах спецификации клеток у животных с разными типами развития.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-74-10046 на базе МБС СПбГУ, ББС МГУ, РЦ РМуКТ СПбГУ и РЦ ММ СПбГУ.

### The involvement of canonical Wnt/ $\beta$ -catenin signaling in the patterning of annelid embryos with different cleavage and gastrulation types

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

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

Wnt/ $\beta$ -catenin signaling is considered a conservative element in animal-vegetative axis patterning and cell specification during cleavage in bilaterians. Here we examined its role in annelids with different types of cleavage: *Alitta virens* and *Ophelia limacina*. Our results indicate conservative functions of  $\beta$ -catenin in animals with different cleavage types.

## Хетогенез в эмбриональном развитии аннелиды *Galathowenia oculata*

Андропова Е.И. \*, Краус Ю.А.

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра биологической эволюции, Москва

\* e-mail: comatrighandronova@gmail.com

Важной чертой строения представителей Lophotrochozoa являются щетинки, или хеты, которые обладают разнообразным строением. Тем не менее, структура, которая синтезирует щетинки — фолликул — считается очень консервативной. Фолликул представляет собой инвагинацию эпидермы и состоит из трех типов клеток. В основании фолликула расположен хетобласт, который синтезирует щетинку с помощью микроворсинок. Канал для хеты формирует несколько фолликулярных клеток и покрытых кутикулой эпидермальных клеток. У большинства аннелид хетогенез начинается на стадии поздней личинки-метатрохофоры при формировании ларвальных сегментов. Тем не менее, в некоторых группах хетогенез начинается гораздо раньше — еще у эмбриона, в состав которого входит совсем небольшое число клеток. Одной из таких групп являются овенииды (Oweniidae), для которых характерно наличие личинки-митрарии. Важной чертой этой планктонной личинки является наличие двух пучков длинных щетинок, с помощью которых она «парит» в толще воды. Возникает вопрос: есть ли различия в строении и закладке фолликулов у эмбрионов и личинок?

В рамках этой работы мы применили методы световой, конфокальной микроскопии, классической гистологии и трансмиссионной микроскопии, чтобы изучить процесс закладки фолликулов в эмбриогенезе представителя овениид — *Galathowenia oculata* (Zachs, 1923). Этот бентосный вид обитает в морях Северной Атлантики и Арктики; в том числе, в Белом море. Оказалось, что у этого вида хетогенез начинается на стадии поздней гастролы, сразу после формирования мезодермальных полосок. Следовательно, именно с формированием фолликулов связана первая дифференцировка клеток в развитии *G. oculata*. Первые две пары фолликулов закладываются в эктодерме и состоят всего из двух клеток: хетобласта и фолликулярной клетки, которая образует канал для растущей щетинки. Вскоре хетобласт погружается внутрь эмбриона, ближе к мезотелобластам. Фолликулярная клетка остается в составе эктодермы и лишь меняет свою ориентацию относительно остальных эктодермальных клеток, следуя за погружающимся хетобластом. В ходе дальнейшего развития строение фолликулов остается прежним, меняется только их количество.

Таким образом, гетерохронный сдвиг начала хетогенеза на более раннюю стадию развития привел к существенному изменению строения и закладки фолликулов у *G. oculata* по сравнению с другими аннелидами. Эти изменения связаны с тем, что эмбрионы у большинства Spiralia малоклеточные, поэтому формирование фолликулов путем инвагинации пласта клеток на этой стадии невозможно. Такая особенность могла стать важной адаптацией митрарии к жизни в планктоне, позволив ей обзавестись длинными щетинками уже к моменту выхода из оболочки оплодотворения.

## Chaetogenesis in the embryonic development of the annelid *Galathowenia oculata*

Andronova E. \*, Kraus Y.

Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Biological Evolution, Moscow

\* e-mail: comatrighandronova@gmail.com

Here, we studied the formation of chaetae and follicles in the embryonic development of the annelid *Galathowenia oculata*. This species is characterized by a mitraria larva, which already has several pairs of chaetae by the time it emerges from the fertilization membrane. We assume that the simplified structure of the follicles and the altered way they are formed allowed mitraria to adapt to life in plankton.

## **Neurohumoral control of proliferation in the process of posterior regeneration in *Alitta virens***

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

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

Annelids are well known for their outstanding regenerative abilities. However, during their lifetime these abilities can decline. In nereidid polychaetes this decline is connected with activity of methylfarnesoate, an annelid brain hormone that regulates juvenile's transition into puberty (Schenk et al., 2016). Thus, an excellent ability to restore lost segments is mainly present in juvenile species and regulated via neurohumoral secretion. An experimental design with decapitation (amputation of the cerebral ganglion) and following amputation of the posterior part of the body makes it possible to analyze the role of hormonal regulation in this process. In our study, we decapitate juvenile *Alitta virens* worms and then analyze EdU incorporation to visualize proliferation activity at the posterior wound site.

We compare specimens with one day *vs.* one week between decapitation and subsequent posterior amputation. Despite decapitation in both experimental designs regeneration process starts normally, however as the bud becomes more mature the differences become prominent. At 5 dpa we normally expect to see anterior-to-posterior heterogeneity of the bud, i.e. the zone of segment formation has higher mitotic activity, and pygidium has only a few dividing cells. In experimental setting with one week between amputations, the regenerative bud lacks such clear differences, and an overall proliferation level seems to be higher. The same is true for specimens with only one day between amputations, meaning that even one day without sufficient amount of neural hormones can disrupt an expected pattern of regeneration. At more advanced stages, we expect to see a decrease in EdU incorporation, as newly formed segments grow and mature, but in the experimental specimens' proliferative activity remains high across all newly formed segments. Despite active proliferation in both experimental designs after more than two weeks of regeneration the regenerative bud is still smaller, has less segments, parapodia are underdeveloped or completely absent and it is generally resembling the tail region of the sexually mature animals. We believe that these differences are the result of disrupted neuroendocrine secretion.

Our data suggest that the nervous system of *A. virens* regulates regionalization of the bud via changing proliferation activity in its regions. Even one day between decapitation and posterior amputation is enough for the morphological changes of the regenerative process. Lack of adequate amount of neurohumoral secretion leads to the deformities of the bud that become more advanced the more time between the amputations passed and to the later stages of regeneration.

*This research was funded by the RSF grant No. 23-74-10046.*

## **Modification and regrowth of the nervous system during regeneration and asexual reproduction in the annelid *Nais communis***

*Kotenko A. \*, Kostyuchenko R.*

Saint Petersburg State University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

Annelida is a group of protostomes that are characterized by metameric structure, secondary body cavity and spiral cleavage. Their central nervous system includes the cerebral ganglion, prostomial nerves, circumesophageal connective, subesophageal ganglion, and ventral nerve cord with segmental ganglia. Although annelids share a relatively conservative embryonic development, their post-embryonic development is quite diverse. Their ability to regenerate is widespread within the group, and a positive correlation has been found with the ability to reproduce asexually by fission.

*Nais communis* is a member of the Naididae family. In Naididae, paratomy, a type of asexual reproduction characterised by the formation of a new head and tail before splitting, is widely represented. During this process, a new cerebral ganglion is formed from blastema derived from the epidermis, and a new ventral nerve cord is formed from both the blastema and the old cord. On the other hand, these animals are also capable of anterior and posterior regeneration, when the parts of the nervous system are redeveloped either by morphallaxis or by epimorphosis.

The aim of our research is to monitor the progress of nervous system restoration during all stages of anterior and posterior regeneration in the oligochaete *N. communis* and to compare it with the fission process and with data from other annelids. Our immunocytochemical data show the formation of the new cerebral ganglion and prostomial nerves on the late stage of fission and regeneration, and other changes in the central nervous system that occur during asexual reproduction or during regeneration. Regeneration and fission in *N. communis* lasted for approximately 5 days. To study both anterior and posterior regeneration and possible differences in their duration, we have amputated either the posterior or the anterior half, the posterior quarter of the animals, or the head with 4 larval segments. The process of regeneration shares common features with fission, however, there are some significant differences. For instance, while the new ventral nerve cord is an extension of the old injured one during regeneration, fission is characterized by the formation of a dorsal branch of the original ventral nerve cord.

The study of the nervous system modification during regeneration is necessary for the understanding of the mechanisms underlying annelids' regeneration and its evolutionary relationship with fission.

*This research is supported by the RSF grant No. 24-24-00149 and performed at the Research park of Saint Petersburg State University "Centre for Molecular and Cell Technologies".*

## **Влияние ингибиторов и активаторов Wnt-сигналинга на процесс регенерации *Pygospio elegans* (Annelida, Spionidae)**

Слипоморый А.М.<sup>1\*</sup>, Новикова Е.Л.<sup>2</sup>, Старунова З.И.<sup>3</sup>, Шунькина К.В.<sup>3</sup>, Старунов В.В.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии, Санкт-Петербург

\*e-mail: artem.slipomoruy.94@mail.ru

Сигнальный путь Wnt (Wnt-сигналинг) — это важная молекулярная система, играющая ключевую роль в регуляции различных биологических процессов, таких как эмбриональное развитие, клеточное деление, дифференцировка, поддержание стволовых клеток и регенерация (Nayat et al., 2022). Одной из важнейших и консервативных функций этого сигнального пути является становление передне-задней полярности тела как во время развития, так и в ходе регенерации (Bastakoty et al, 2016). Кроме того, он играет ключевую роль в развитии метамерных структур у сегментированных животных. В данной работе изучено участие Wnt-сигналинга в процессе регенерации *Pygospio elegans* (Annelida, Spionidae). Целью нашей работы является анализ воздействия ингибиторов и активаторов Wnt-сигналинга на ход регенерации *P. elegans*.

Нами были поставлены серии экспериментов по выявлению морфологических изменений в регенерации *P. elegans* с модуляторами сигнального пути Wnt. Из выбранных веществ 1-azakenpaullone (*azp*) является активатором, а PNU-74654, IWR-1, IWP-3 – ингибиторами. Был осуществлен подбор рабочих концентраций вышеперечисленных веществ, влияющих на ход регенерации. Результаты эксперимента были проанализированы с помощью методов сканирующей электронной микроскопии.

При добавлении *azp* замечен эффект замедления восстановления; так, уже при концентрации вещества в 5 мкМ через неделю после операции пигидиальные лопасти остаются фактически несформированными, количество сегментов сокращается по сравнению с нормой. Эффект нарушения регенерации усиливается при концентрации *azp* 10 мкМ: головные и пигидиальные структуры практически не восстанавливаются, прирост сегментов незначителен. Эффект IWP-3 при концентрации 10 мкМ малозаметен, мы отмечаем незначительное замедление развития регенерирующих структур по сравнению с нормой. IWR-1 как при низкой, так и при высокой концентрациях оказывает аналогичное с IWP-3 воздействие. Низкие концентрации PNU-74654 оказывают похожие на предыдущие два вещества воздействие, однако более высокая концентрация дает усиленный эффект: регенерация значительно замедляется, сегментные границы слабо выражены, придатки регенерирующих головного и пигидиального концов тела остаются недоразвитыми.

Нами были обнаружены значительные морфологические изменения при воздействии модуляторов сигнального пути Wnt. Как активаторы, так и ингибиторы ведут к общему замедлению регенерационного процесса *P. elegans*. Это может свидетельствовать о сложном механизме участия сигнального пути Wnt в регенерации кольчатых червей.

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Таксон» ЗИН РАН и при использовании коллекционных материалов Зоологического института РАН (Санкт-Петербург, Россия). Работа выполнена в рамках темы госзадания «Эволюционный морфогенез и молекулярно-генетические основы разнообразия протистов и беспозвоночных животных» (FMFG-2025-0016, 125012800894-6).*

## **Mechanisms of *Pygospio elegans* regeneration: the influence of Wnt signaling on the repair process**

Slipomoroy A.<sup>1</sup>, Novikova E.<sup>2</sup>, Starunova Z.<sup>3</sup>, Shunkina K.<sup>3</sup>, Starunov V.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

\*e-mail: artem.slipomoruy.94@mail.ru

The Wnt-signaling pathway is a genetically determined mechanism that establishes and maintains the anterior-posterior axis in both vertebrate and invertebrate bodies. We used Wnt-signaling modulators PNU-74654, IWR-1, IWP-3, and 1-azakenpaullone to study regeneration in *Pygospio elegans*. As a result, we observed a significant reduction in segment growth and structural regeneration.

## Сигнальный путь Hedgehog в развитии *Dimorphilus gyrocilatus*

Матвейчева Е.П.<sup>1\*</sup>, Кулакова М.А.<sup>2</sup>, Полишкевич Л.О.<sup>2</sup>, Ивашкин Е.Г.<sup>3</sup>, Воронежская Е.Е.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра эмбриологии, Москва

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

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова, Москва

<sup>4</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва

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

Сегментация Metazoa регулируется рядом консервативных сигнальных путей. Процесс формирования сегментов модельных Arthropoda указывают на ключевую роль сигнального пути Hh в этом процессе. Однако позвоночные животные имеют другие механизмы формирования сегментов. Есть ли общность между механизмами сегментации у разных метамерных существ? Аннелиды, как представители первичноротых метамерных животных, хорошо подходят для ответа на такие эволюционные загадки. Исследования Hedgehog-пути разных групп аннелид могут показать, как выглядели эволюционные адаптации механизма сегментации на разных этапах филогенеза.

Миниатюрные интерстициальные аннелиды *Dimorphilus gyrocilatus* обладают уникальными чертами: взрослые черви похожи на метатрохофор других аннелид, не имеют зоны роста и обладают экстремальным половым диморфизмом. Данные о процессе их сегментации могут дополнить данные об эволюции сегментации аннелид, тем более что группа Dinophiliformia является сестринской к Sedentaria и Etrantia, двум основным кладам аннелид. Также неизвестна природа сегментов *D. gyrocilatus* и их соответствие сегментам других аннелид. Особый интерес вызывает функциональная роль генов Hedgehog у *D. gyrocilatus*, так как в отличие от других модельных аннелид этот червь имеет два паралога гена *Hh*: *Dgyr-Hh1* и *Dgyr-Hh2*.

Целью нашей работы является изучение экспрессии генов Hh-пути — *Dgyr-Hh1*, *Dgyr-Hh2*, их вероятного основного эффектора *Dgyr-Gli* и гена *Dgyr-Caudal* — маркера зоны роста других аннелид.

Мы клонировали белок-кодирующие участки этих генов, синтезировали к ним РНК-зонды, и поставили WMISH на эмбрионах, ювенилях и взрослых червях. Мы сосредоточились на изучении самок. *Dgyr-Gli* имеет выраженный метамерный паттерн еще на стадии ранней трохофоры. У червячков перед вылуплением и взрослых червячков *Gli* экспрессируется в области рта. Экспрессия *Dgyr-Hh1* и *Dgyr-Hh2* не метамерна. У молодых и взрослых червей экспрессия *Dgyr-Hh1* наблюдается во рту и проктодеуме. *Dgyr-Hh2* экспрессируется на границе между экто- и энтодермальной глоткой. *Dgyr-Caudal* экспрессируется в постериорной части тела и задней кишке, и этот паттерн схож с тем, что мы видим у других аннелид. Экспрессия *Dgyr-Gli* и обоих *Hh* схожа с экспрессией их ортологов у *Platynereis dumerilii*. На стадии ранней трохофоры *Pdum-Gli* тоже имеет метамерный паттерн, а *Pdum-Hh* в это время работает только во рту.

Полученные данные показывают сходство экспрессионных паттернов ортологов Hh и Gli на ранних этапах и различиях на поздних этапах развития у двух эволюционно далеких аннелид.

Авторы выражают благодарность ресурсному центру «Хромас» (СПбГУ) за помощь в клонировании генов и визуализации данных WMISH.

## Hedgehog signaling pathway in *Dimorphilus gyrocilatus* development

Matveicheva E.<sup>1\*</sup>, Kulakova M.<sup>2</sup>, Poliushkevich L.<sup>2</sup>, Ivashkin E.<sup>3</sup>, Voronezhskaya E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Embryology, Moscow

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

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow

<sup>4</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow

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

We investigated the expression patterns of genes involved in the Hedgehog (Hh) signaling pathway, as well as the *Caudal* gene, in the annelid *Dimorphilus gyrocilatus*. Among the studied genes, *Gli* is the only one observed to exhibit a metameric expression pattern during early development and is later localized to the oral region in adult stages. The *Hh1* and *Hh2* genes lack a metameric expression pattern and display age-dependent expression in distinct regions of the intestinal tract. The *Caudal* gene is consistently expressed in the posterior body region.

## **Гаметогенез сима *Oncorhynchus masou* в условиях заводского воспроизводства в Сахалинской области**

*Кузьмина Е.С.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
e-mail: kuzeks@yandex.ru

Сима *Oncorhynchus masou* принадлежит к роду тихоокеанских лососей, подавляющее большинство представителей которого характеризуется единственным в жизни нерестом — моноциклической. Кроме того, сима наряду с другими видами рода обладает большим разнообразием репродуктивных стратегий. В этом разрезе сима может выступать модельным объектом при исследовании воспроизводительной системы у рыб. Несмотря на продолжительность искусственного воспроизводства вида, сегодня эта практика все еще носит экспериментальный характер. В связи с этим представляется актуальным всестороннее изучение вопросов роста и развития сима. Целью нашего исследования стало описание развития гонад у молоди сима в течение полного рыболовного цикла.

Эксперимент проводили на Анивском лососевом рыболовном заводе, расположенном в южной части острова Сахалин. Температурный режим на нем сильно зависит от прогрева природных вод и поэтому имеет существенные колебания в течение года от 0,3–0,7 °С в зимние месяцы до 12–13 °С в конце августа. В течение полного рыболовного цикла (от закладки икры в сентябре до выпуска молоди в июле) через каждые 15 суток фиксировали 30–50 особей. Из гонад отобранных экземпляров подготавливали гистологические препараты, которые окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну.

Полученные данные позволили определить сроки наступления ключевых этапов гаметогенеза. Признаки дифференцировки пола обнаружены у личинок сима в возрасте 90 суток после вылупления: в яичниках помимо гониев присутствовали ооциты периода ранней профазы мейоза. Последующие три месяца качественное состояние яичников менялось незначительно. Доля ооцитов в состоянии зиготены уменьшалась и закономерно с этим увеличивалась их доля в состоянии пахитены. Появление ооцитов периода превителлогенеза или переход от генеративной фазы оогенеза к вегетативной выявили у мальков в возрасте 209 суток. Число превителлогенных ооцитов на срез увеличивалось в течение июня-июля. Это дает основание предположить, что генерация ооцитов у молоди сима еще не была сформирована к моменту выпуска с завода. На протяжении всего периода выращивания состояние семенников менялось незначительно и характеризовалось последовательным увеличением числа гониев. Непосредственно перед выпуском (252 суток) число гониев на срез составляло в среднем около 20 клеток. В этой же заключительной фиксации в гонадах некоторых самцов были обнаружены сравнительно многочисленные гонии в количестве не менее 100 клеток на срез. Таким образом, в исследуемой группе удалось предположительно выявить сроки проявления будущих карликовых самцов.

## **Gametogenesis of masu salmon *Oncorhynchus masou* under conditions of factory reproduction in the Sakhalin region**

*Kuzmina E.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
e-mail: kuzeks@yandex.ru

We examined the reproductive system of masu salmon *Oncorhynchus masou* under conditions of factory reproduction. Our study identified the timing of key developmental stages in the ovaries and testes. The findings expand existing knowledge on the reproductive system development of monocyclic fish species.

## Новые данные по эмбриональному и личиночному развитию трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* L.

Надточий Е.В.<sup>1\*</sup>, Смирнова К.А.<sup>1</sup>, Кондакова Е.А.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга)

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

Одним из известных объектов эволюционных и экологических исследований является трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* L. Данный вид — амфибореальный, встречается у побережий Тихого и Атлантического океана, образует анадромные и пресноводные жилые формы. Вид обладает небольшими размерами (5–7 см), коротким жизненным циклом, демонстрирует половой диморфизм в период нереста, доступен для сбора различными орудиями лова, неприхотлив в содержании в неволе. Отмечается высокая численность вида в Белом море и в Кандалакшском заливе, особенно в прибрежных биотопах со взморником морским *Zostera marina* (Иванова и др., 2016; Lajus et al., 2021). В связи с этим, активно проводятся полевые и экспериментальные работы, направленные на изучение разных аспектов биологии беломорской колюшки, в том числе раннего онтогенеза. Целью работы было детально охарактеризовать органогенез *G. aculeatus* на эмбриональных и личиночных стадиях.

Зародыши были получены в результате искусственного оплодотворения на учебно-научной базе «Беломорская» в 2017 и 2024 годах. В 2017 году икра развивалась при температуре 12–15°C, в 2024 — при температуре 19 °C. Стадии развития определяли по работе Сварупа (Swarup, 1958). Для анестезии личинок использовали лидокаин. Материал фиксировали жидкостью Буэна. Серийные парафиновые срезы толщиной 6 мкм были окрашены гематоксилином Караци и эозином.

Были получены следующие результаты. Образование просвета кишки (включая переднюю энтодерму) начинается на стадиях 16–19. На поперечных срезах зародышей колюшки можно видеть широкий зачаток энтодермы глотки и пищевода. Развитие кишки идет в направлении спереди назад. На стадиях 22–23 представлен зачаток печени. В отделах кишки, где просвет еще не различим, клетки расположены в виде «розеток».

На стадиях 18–19 начинается вакуолизация клеток хорды. Она и подразделение клеток хорды на два типа становятся заметными в переднем отделе тела к стадиям 20–21.

На стадиях 21–23 в сосудах содержатся эритробласты.

К стадиям 20–21 появляются меланофоры.

Хвостовая почка состоит из плотно упакованных клеток. На стадиях 22–23 развивающийся задний отдел тела широкий, в нем продолжается развитие осевого комплекса органов. Конец нейрального зачатка находится на стадии нейрального киля.

У личинок в возрасте приблизительно 3–4 дней после вылупления имеется большое количество желтка и жировых капель, кишка подразделена на отделы. Желудочные железы появляются во время смешанного питания.

Впервые полученные нами данные об органогенезе дополняют имеющиеся сведения о нормальном развитии колюшки.

Авторы благодарят РЦ РМиКТ и УНБ «Беломорская» за возможность проведения данного исследования.

## New data on embryonic and larval development of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L.

Nadtochii E.<sup>1\*</sup>, Smirnova K.<sup>1</sup>, Kondakova E.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg Branch of the FSBSI «VNIRO» («GosNIORKH» named after L.S. Berg), Saint Petersburg

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

We studied the organogenesis in embryos (stages 16-23) and larvae of *Gasterosteus aculeatus* histologically. We observed the gut lumen formation from stage 16 in anterior to posterior direction. The differentiation of notochord cells begins by the stages 20-21. The erythroblasts are seen in the circulation at the stages 21-23.

### **Филогения амёб отряда Leptomyxida (Amoebozoa, Tubulinea) по последовательности участка гена *cox1***

*Кулишкин Н.С.*

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

Систематика амёбодных организмов традиционно основывалась на морфологических признаках, таких как локомоторная форма и размер клетки, строение и размер ядра и ядрышка, а также особенности ультраструктуры клеточных покровов. Однако с развитием молекулярных методов в систематике амёб супергруппы Amoebozoa стала активно использоваться молекулярная филогенетика, в первую очередь основанная на последовательностях гена 18S рРНК. Этот ген получил широкое распространение в качестве маркера для реконструкции филогении благодаря своей мозаичной структуре, включающей чередующиеся консервативные и вариабельные регионы. За последние тридцать лет была собрана обширная база последовательностей гена 18S рРНК различных амёб, что позволяет использовать его для построения филогенетических деревьев как для отдельных родов, так и для супергруппы Amoebozoa в целом.

Среди Amoebozoa имеются группы, характеризующиеся исключительно низким уровнем вариабельности последовательности гена 18S рРНК. Например, последовательности близких видов амёб рода *Leptomyxa* могут быть идентичны более чем на 99 %. Это создает значительные сложности при филогенетическом анализе и приводит к различиям в топологии деревьев, полученных разными методами анализа. В связи с этим для реконструкции филогении лептомиксид представляется целесообразным использовать последовательности более вариабельных генов. Одним из таких генов может быть ген *cox1* (первая субъединица гена цитохромоксидазы), широко используемый в качестве ДНК-баркода у Amoebozoa.

В рамках исследования разнообразия, филогении и систематики амёб отряда Leptomyxida нами были получены последовательности фрагмента гена *cox1* для 15 штаммов лептомиксид. На основе этих последовательностей было построено филогенетическое дерево. В целом, оно повторяет топологию дерева, основанного на последовательностях гена 18S рРНК, однако имеет существенно более высокую поддержку терминальных клад. Последовательности гена *cox1* разных видов лептомикс демонстрируют значительно более низкий уровень идентичности, нежели последовательности гена 18S рРНК. Таким образом, как и в других группах голых амёб, ген *cox1* является более чувствительным баркодом (нежели ген 18S рРНК), более подходящим для различения близких видов. Однако построение полноценного филогенетического дерева амёб отряда Leptomyxida по последовательности фрагмента гена *cox1* в настоящее время невозможно, поскольку типовые штаммы большинства видов утрачены, а образцов их ДНК не существует.

*Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий». Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ № 23-74-00050.*

### **Phylogeny of amoebae of the order Leptomyxida (Amoebozoa, Tubulinea) based on the sequence of the *cox1* gene region**

*Kulishkin N.*

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
e-mail: development.bio@gmail.com

Reconstruction of leptomyxid phylogeny is hampered by the high-level identity between 18S rRNA gene sequences. In this study, we obtained partial *cox1* gene sequences for 15 leptomyxid amoebae strains. Compared with the 18S rRNA gene, *cox1* sequences are characterized by a lower percentage of identity between different *Leptomyxa* species.

## **Puzzling systematics within *Haliclystus* (Cnidaria: Staurozoa)**

Domracheva M. \*, Salova I., Khabibulina V.

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

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

Staurozoa is a unique group of stalked jellyfish, whose taxonomy has been significantly revised over the past two decades. However, phylogenetic relationships within the genera remain poorly understood. The main challenge in taxonomic studies on stalked jellyfish is the limited number of morphological features that can be used for species identification. This difficulty is compensated in modern research by applying an integrative approach that combines morphological analysis and molecular genetic studies. However, there are still many gaps and uncertainties in the staurozoan classification, particularly for species that were described earlier without the use of molecular genetics. The most numerous and problematic genus of Staurozoa is *Haliclystus* with 13 species, some of which have questionable validity. The current study aims to investigate the diversity and phylogeny of *Haliclystus* species in the Northern and Far Eastern seas, using both morphological and molecular methods.

The *Haliclystus* specimens were collected in the White and Barents Seas, the Sea of Okhotsk, and the Sea of Japan in 2022–2024. Morphometric characteristics, rhopaloid shape and size, and cnidocytes arrangement were used for morphological analysis. For molecular analysis COI, 16S, 28S and ITS gene regions were sequenced.

As a result of morphological analysis, we identified three species with confidence: *H. auricula* (the White Sea and the Barents Sea), *H. tenuis* (the Sea of Japan) and *H. borealis* (the Sea of Japan). One specimen from the Sea of Okhotsk represents similar morphological features to *H. sanjuanensis*, but it cannot be identified with certainty due to poor sample preservation. Two specimens from the Sea of Japan have not been identified, as they were juveniles.

The resulting phylogenetic tree generally correspond to morphological identifications. Specimens of *H. auricula* from the White and Barents Seas form a single clade with species of *H. auricula* from the North Sea. The closest sister branch to the *H. auricula* clade is presented by the *H. antarcticus* species from the Southern Atlantic Ocean. Specimens of *H. tenuis* from the Sea of Japan are combined with specimens of *H. tenuis* collected in the North Sea and on the Pacific coast of Hokkaido. Unidentified samples from the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan form two separate clusters that do not overlap with available sequences from GenBank, and therefore may potentially present new species. Our findings suggest two major groups: Atlantic-oriented and Pacific-oriented, with some specimens challenging this geographical classification. To establish phylogeographic relationships within the genus *Haliclystus* it is necessary to extend studies using more samples.

## Видовое разнообразие беломорских плоских червей из рода *Monocelis* (Platyhelminthes, Proseriata)

Константинова Ю.И.<sup>1\*</sup>, Косевич И.А.<sup>1</sup>, Неретина Т.В.<sup>2</sup>, Темерева Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова

\* e-mail: kly776@mail.ru

Разнообразие свободноживущих плоских червей (Turbellaria) Белого моря слабо изучено, и многие рода содержат криптические виды. Среди представителей турбеллярий особо важным и часто доминирующим видом литоральных сообществ Белого моря являются представители рода *Monocelis*. Считается, что на Белом море обитает только два вида данного рода: *Monocelis lineata* (Müller, 1773) Örsted, 1843 и *M. fusca* Örsted, 1843. Эти виды различали по совокупности двух признаков: окраске и наличию стилета копулятивного органа. В современной литературе *M. lineata* рассматривается как комплекс видов (Scarpa et al., 2016). При рассмотрении беломорских представителей рода *Monocelis* было установлено морфологическое несоответствие некоторых особей морфологическому описанию видов *M. lineata* и *M. fusca*. В настоящей работе была поставлена цель проанализировать видовой состав рода *Monocelis* Белого моря в окрестностях ББС МГУ.

Собранный на литорали Белого моря в окрестностях ББС МГУ им. Перцова материал был разделен на несколько морфогрупп для дальнейшего исследования с использованием интегративного подхода (предполагает сочетание в анализе морфологических и молекулярных методов). Молекулярный анализ по ядерным генам 18S и фрагменту 28S показал, что собранные образцы формируют 5 клад видового уровня, одна из которых является сестринской к виду *M. fusca*, а остальные входят в комплекс *M. lineata sensu lato*. Морфологическая часть исследования включала прижизненное изучение (очень важный этап в изучении турбеллярий), изготовление гистологических срезов (парапластовых и аралдитовых), 3D реконструкцию и конфокальную лазерную сканирующую микроскопию. На основании морфологического анализа был сформирован комплекс отличительных особенностей, характерный для каждой выделенной группы. В результате сопоставления молекулярных и морфологических данных удалось подтвердить уникальность каждой выделенной группы — генетическую и анатомическую. Группы, сформированные на основании морфологических данных, совпадают с кладами на филогенетических реконструкциях.

По результатам данной работы были сделаны следующие выводы:

1. Представители рода *Monocelis*, найденные в окрестностях ББС принадлежат к критическим ранее не описанным видам из комплексов видов *M. lineata* и *M. fusca*.
2. Для морфологического разграничения видов необходимо использовать несколько признаков, среди которых первостепенными являются окраска и строение копулятивного органа.
3. Представители всех 5 генетически отличных клад имеют отличительные особенности анатомического строения, свойственные только представителям соответствующих клад.

## Species diversity of the White Sea flatworms of the genus *Monocelis* (Platyhelminthes, Proseriata)

Konstantinova J.<sup>1</sup>, Kosevich I.<sup>1</sup>, Neretina T.<sup>2</sup>, Temereva E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, N.A. Pertsov White Sea Biological Station

\* e-mail: kly776@mail.ru

We studied molecular and morphological features of worms of genus *Monocelis* from the White Sea Biological Station. The majority of discovered specimens presents a combination of characteristics not found in species *Monocelis lineata* and *M. fusca*, which are the only expected species in this area.

## Поиск и определение видовой принадлежности представителей рода *Terebellides* в Карском море и море Лаптевых

Сыроватская Я.В.<sup>1\*</sup>, Кроленко В.И.<sup>2,3,4</sup>, Манухов И.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова, Москва

<sup>2</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва

<sup>4</sup> Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>5</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный

\* e-mail: yana.syr@bk.ru

*Terebellides* относятся к семейству Trichobranchidae — одному из ведущих групп морского бентоса. Род *Terebellides* был описан в 1835 году, и его первый представитель, *T. stroemi*, долгое время считался космополитным видом, распространенным в Северном Ледовитом океане и вдоль атлантических побережий. Однако к настоящему времени уже описано 86 видов, согласно World Register of Marine Species (Kudryavtseva et al., 2023). Исследования (Nygren et al., 2018) выявили скрытые виды *Terebellides* Арктики и северной Атлантики, а в работе (Kudryavtseva et al., 2023) показан разорванный ареал обитания видов Белого моря. Однако поиск этих видов на востоке Баренцева, Белого и Карского морей никто не проводил.

Таким образом, встает задача описать криптические виды *Terebellides* в Карском море и дальше к востоку. Понимание распространения и биоразнообразия морских видов полихет поможет в разработке эффективных стратегий сохранения и развития глобальных экосистем.

В данной работе мы исследовали образцы рода *Terebellides*. Из всех собранных образцов было проведено выделение тотальной ДНК с помощью набора NK 21100 (ООО Биофизтех, Россия) (Сидорук и др., 2020). Далее мы амплифицировали выделенную ДНК с использованием 3 пар олигонуклеотидов: гены митохондриальной цитохромоксидазы I (LCO1490 — GGTC AACAAATCATAAAGATATTGG, HCO2198 — TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA) и митохондриальной рибосомальной РНК (16SARL — CGCCTGTTTATCAAAAACAT, 16SBRH — CCGGTCTGAACTCAGATCACGT), а также ядерные последовательности нетранскрибируемой спейсерной области ITS2 (ITS58SF — GAATTGCAGGACACATTGAAC, ITS28SR — ATGCTTAAATTCAGCGGGT) (Nygren et al., 2018). Ставили электрофорез для проверки на выделившиеся ДНК и ампликоны после проведения ПЦР. Элюировали выделившиеся образцы с помощью набора Cleanup St Gel (ЗАО Евроген, Россия).

За время экспедиции был собран и определен по фенотипическим признакам 21 образец рода *Terebellides*. Получена хромосомальная ДНК из 21 образца вышеперечисленных полихет. Получено 3 элюированных образца фрагментов гена 16S рРНК митохондрий, 2 элюированных образца фрагментов гена митохондриальной цитохромоксидазы I и 15 элюированных образцов фрагментов ITS2 региона для последующего секвенирования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на восточных частях Баренцева, Белого морей, в Карском море и далее по востоку обитают представители интересующих нас теребеллид. Планируется проведение филогенетического анализа собранных образцов.

Работа выполнена в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плывущий университет» (соглашение № 075-03-2024-117).

## Search and identification of species belonging to representatives of the genus *Terebellides* in the Kara Sea and Laptev Sea

Syrovatskaya Y.<sup>1\*</sup>, Krolenko V.<sup>2,3,4</sup>, Manukhov I.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> First Moscow State Medical University I. M. Sechenov, Moscow

<sup>2</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow

<sup>4</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

<sup>5</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

\* e-mail: yana.syr@bk.ru

We were looking for Polychaetes of the genus *Terebellides* in the Kara Sea and further. Using modern methods, we were able to detect 21 representatives in the Barents, White, Kara, and Laptev Seas, isolate their chromosomal DNA, and perform elution. Phylogenetic analysis of the collected samples is planned.

## Анализ гибридизации между *Mytilus trossulus* и *M. galloprovincialis* в Японском море

Александрова П.Н.<sup>1\*</sup>, Хайтов В.М.<sup>1,2</sup>, Стрелков П.П.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

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

Оказываясь в симпатрии, виды рода *Mytilus* могут вступать в интрогрессивную гибридизацию с образованием гибридных зон, в которых сосуществуют чистопородные особи родительских видов и гибриды с разными фенотипами и приспособленностью. Интрогрессия может приводить к изменениям генофондов родительских популяций, влияя на их эволюцию. Одним из важнейших драйверов глобальных изменений на планете считается антропогенная гибридизация, спровоцированная нарушением экологических и географических барьеров (Viard et al., 2020). *M. galloprovincialis* — один из самых успешных видов-вселенцев (Branch, Steffani, 2004). В XX веке он был занесен с морским транспортом в северную Пацифику, где нативным видом является *M. trossulus*. Всего в регионе описано три гибридных зоны, образованных этими видами: в Калифорнии, Японии и Приморье, где инвазия *M. galloprovincialis* регистрируется с конца XX века (Ivanova, Lutaenko, 1998). Известные сроки начала вселения дают возможность изучать гибридизацию и ее последствия практически в режиме реального времени.

Целью нашей работы было изучить генотипическую и фенотипическую (морфология раковины, репродуктивный статус) изменчивость мидий из гибридной зоны между *M. trossulus* и *M. galloprovincialis* в Приморье.

Материалом послужила случайная выборка (N = 93) мидий, собранных в мае 2024 года в бухте Витязь залива Петра Великого (Японское море). На препаратах мазков из гонад было определено отсутствие или наличие гамет. Гемолимфа была изучена при помощи проточной цитометрии для исключения у собранных мидий случаев генетического химеризма, связанного с инфекцией трансмиссивного рака (MtrBTN), имеющего генотип *M. trossulus* и маскирующего истинный генотип особи. Ткани мидий генотипировали по 7 диагностическим ядерным локусам и 16sF мтДНК. Ядерные генотипы классифицировали методом STRUCTURE. Для описания морфологических черт мидий классифицировали по форме раковин на «trossulus-образные», «galloprovincialis-образные» и промежуточные (Ivanova, Lutaenko, 1998), определяли видоспецифичные морфотипы по характеру закладки перламутрового слоя в районе лигамента (Золотарев, Шурова, 1997), а также описывали контуры раковин методом эллиптического анализа Фурье (Caple et al., 2017).

В выборке присутствовали как чистопородные *M. trossulus* (41 %) и *M. galloprovincialis* (17 %), так и их многочисленные (42 %) гибриды разных поколений. По морфологии раковины и мтДНК гибриды чаще оказывались ближе к *M. trossulus*. Также они чаще оказывались «беспольными», что может свидетельствовать о нарушении у них репродуктивной функции. Эти наблюдения свидетельствуют об асимметричной интрогрессии от *M. trossulus* к *M. galloprovincialis* и наличии репродуктивных барьеров между видами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-74-200-24.

## Analysis of hybridization between *Mytilus trossulus* and *M. galloprovincialis* in the Sea of Japan

Aleksandrova P.<sup>1\*</sup>, Khaitov V.<sup>1,2</sup>, Strelkov P.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

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

New data about the diversity of mussels' genotypes in hybrid zone between *Mytilus trossulus* and *M. galloprovincialis* in Primorye were obtained. The effect of hybridization on morphology and reproduction of mussels was shown. Morphological analysis and genotyping revealed the tendency for asymmetric introgression towards *M. galloprovincialis* with hybrids usually being closer to *M. trossulus*. Hybrids were usually "sexless".

## Нейрогистологическое и иммуногистохимическое исследование регуляторной системы пищеварительного тракта беломорских гастропод

Евнукова Е.А.<sup>1,2\*</sup>, Зайцева О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: dusia.evnuкова@yandex.ru

Брюхоногие моллюски являются модельными объектами нейробиологии, однако, несмотря на это, организация нервной системы их пищеварительного тракта, как, впрочем, и у многих других беспозвоночных, остается мало исследованной. Ранее у отдельных видов гастропод было показано наличие катехоламинергических клеток в пищеварительной системе (Zaitseva, Schumeev, 2017; Zaitseva et al., 2019), а также NADPH-диафоразная и ацетилхолинэстеразная активность ряда клеток пищеварительного тракта (Зайцева, Кузнецова, 2008; Zaitseva et al., 2009). По предварительным нейрогистологическим и электронномикроскопическим данным в пищеварительной системе гастропод присутствуют многочисленные нервные и нейросекреторные клетки (Zaitseva et al., 2004; Zaitseva, 2006). Целью настоящей работы стало сравнительное исследование нейрональной организации нескольких отделов пищеварительного тракта беломорских брюхоногих моллюсков из подклассов Caenogastropoda (*Littorina littorea* и *Buccinum undatum*) и Heterobranchia (*Coryphella verrucosa*, *Dendronotus frondosus* и *Cadlina laevis*). Исследовались следующие отделы пищеварительной системы: пищевод, зоб (при наличии), желудок, печень, средняя кишка и задняя кишка. Были применены методы импрегнации серебром по Гольджи-Колонье, а также иммуногистохимическое выявление тубулина, нейротензина, FMRFамида, серотонина (5-НТ) и субстанции Р (SP). Дополнительно проводилось гистохимическое окрашивание мускулатуры с помощью фаллоидина.

С помощью метода серебрения было показано, что в регуляции пищеварения у моллюска, по всей видимости, помимо субэпителиальных нервных клеток и многочисленных нервных волокон, приходящих из ЦНС, существенную роль играют интраэпителиальные нервные и нейросекреторные клетки открытого и закрытого типов. Они выявлены во всех исследованных отделах тракта. Особенно многочисленны и разнообразны они в желудке и кишечнике, где их отростки образуют мощное базисэпителиальное нервное сплетение. Иммуногистохимическое исследование пищевода, желудка и задней кишки *L. littorea* показало наличие многочисленных FMRFамид-, нейротензин- и SP- реактивных интраэпителиальных рецепторных клеток, отростки которых образовывали бази- и субэпителиальные сплетения, а также отдельных нейронов в мускулатуре и 5-НТ иннервацию. Следует отметить, что такие распространенные в пищеварительной системе позвоночных регуляторные вещества, как нейротензин и SP, у гастропод обнаружены впервые. Однако, в отличие от позвоночных, у моллюсков они присутствуют не в интраэпителиальных элементах диффузной эндокринной системы, а в рецепторных и нервных клетках.

*В работе использовано оборудование ЦКП «Таксон» ЗИН РАН. Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы «Эволюционный морфогенез и молекулярно-генетические основы разнообразия протистов и беспозвоночных животных» № 125012800894-6.*

## Neurohistological and immunohistochemical study of digestive regulatory system in White Sea gastropods

Evnuкова E.<sup>1,2\*</sup>, Zaytseva O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

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

\* e-mail: dusia.evnuкова@yandex.ru

We studied distribution of numerous FMRFamide-, neurotensin-, serotonin (5-HT)- and substance P (SP)-positive intraepithelial nervous elements of digestive system in the several White Sea gastropods using immunohistochemistry and the Golgi silver impregnation method. SP- and neurotensin-positive nervous elements in gastropods' digestive system were first discovered in this research.

## **«100 лет спустя»: тихоходки с Земли Франца-Иосифа — новые данные и предварительные результаты**

*Цветкова А.Ю.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
Зоологический институт РАН, лаборатория морских исследований, Санкт-Петербург  
e-mail: combnov@gmail.com

Тихоходки (Tardigrada) — это группа микроскопических животных, в настоящее время выделяемая в ранге самостоятельного типа. Тихоходки широко распространены в природе и встречаются во всех типах водных экотопов. На сегодняшний день в составе группы насчитывается около 1500 видов. В последние годы многие виды, которые ранее считались широко распространенными и полиморфными, с приходом молекулярных данных оказались комплексами локальных криптических и семи-криптических видов. К сожалению, многие таксономические описания до сих пор остаются только морфологическими и требуют дополнения с использованием современных методов.

Особенно актуальными сегодня являются исследования арктических территорий, так как тихоходки, в большом количестве населяющие тундровые экотопы, вероятно, играют в таких сообществах важную роль. Для Арктики, несмотря на десятилетия исследований, сохраняется проблема большого количества сомнительных видов — в особенности для отдаленных, изолированных территорий, на которых затруднительно производить масштабные сборы проб. Одной из таких территорий является архипелаг Земля Франца-Иосифа (национальный парк «Русская Арктика»). Тихоходки впервые были найдены на этих островах в начале XX века (Murray, 1907; Richters, 1911). Более того, для нескольких видов архипелага является типовым местонахождением. Однако все описания, сделанные больше века назад, устарели и не удовлетворяют современным стандартам, а после Richters, 1911 изучение фауны тихоходок Земли Франца-Иосифа приостановилось более чем на сто лет.

Летом 2024 года в ходе комплексной экспедиции на острове Земля Александры сотрудниками РТУ МИРЭА (Москва) были собраны микробиологические пробы. В ходе их разбора в огромных количествах были обнаружены тихоходки, в том числе живые и активные. На данный момент одна проба была передана нашей научной группе (кафедра зоологии беспозвоночных, СПбГУ). Найденные виды были изучены в рамках интегративного подхода, который включает в себя комбинацию морфологических (световая и электронная сканирующая микроскопия) и молекулярных методов (экстракция ДНК и получение последовательностей маркеров 18S, 28S рРНК, ITS-2 и COI для видовой идентификации и реконструкции филогении Tardigrada).

На данный момент в первой же разобранный пробе было обнаружено 3 вида, причем все они, вероятно, являются новыми для науки. Для двух видов уже получены молекулярные данные. Исследование планируется продолжить с использованием материала из других проб, имеющихся в распоряжении микробиологов РТУ МИРЭА.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00201.*

## **“100 years later”: water bears from Franz Josef Land—new data and the results so far**

*Tsvetkova A.*

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
Zoological Institute RAS, Marine Research Laboratory, Saint Petersburg  
e-mail: combnov@gmail.com

The tardigrade fauna of the Franz Josef Land archipelago is critically understudied: last works on the matter were published in early 20th century. An accidental discovery of water bears in microbiological samples taken by researchers from RTU MIREA in 2024 allowed us to acquire new data using integrative approach.

## Центрохелидные солнечники (Haptista: Centroplasthelida) Арктического региона

Дмитровская С.В.\*, Полузеров С.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: dmitrovskaya.sovi@gmail.com

Центрохелидные солнечники (Haptista: Centroplasthelida) — повсеместно распространенные свободноживущие гетеротрофные протисты. Для них характерно наличие тонких неветвящихся аксоподий, несущих экструсомы, хорошо заметный центр организации микротрубочек и эксцентрически расположенное ядро. При общем сходстве плана внутреннего строения, центрохелиды отличаются разнообразием покровных кремниевых элементов, тонкая морфология которых имеет ключевое значение для идентификации видов. Центрохелиды распространены в пресноводных, морских и почвенных местообитаниях. При этом почвенные биотопы изучены крайне фрагментарно: в основном были проведены исследования фауны по единичным кремниевым чешуйкам. Моховые сообщества исследованы на примере олиготрофных сфагновых водоемов и демонстрируют потенциально богатое разнообразие. Однако фауна центрохелид, обитающих во мхах с непостоянным увлажнением, исследована не была.

Нами была получена пресноводная проба из внутреннего озера острова Мейбел (архипелаг Земля Франца-Иосифа) и образцы наземных моховых подушек с островов Керетского архипелага (о. Средний и Луда Медянка). Выделены клональные культуры солнечников из образцов мха и донного осадка. Для изучения морфологии клеток получены фотографии с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии.

Исследованные солнечники по морфометрическим данным и тонкому строению чешуек наиболее близки к видам *Acanthocystis trifurca*, *A. takahashi*, *Raineriophrys echinata*. Для выделенных нами солнечников *A. cf. trifurca* можно отметить наличие на некоторых радиальных чешуйках двух зубчиков на дистальном конце, отсутствие утолщения по краю тангентальных чешуек, что не было отмечено в первоописании, а также меньшие размеры покровных элементов. Исходя из этого, мы предполагаем, что имеем дело с разными видами, сходными с *A. trifurca*. Этот вид был обнаружен в пресных, морских и солоноватоводных местообитаниях (Nicholls 1983; Леонов 2010, Плотников и Герасимова 2017), самая северная находка была отмечена в Арктических водах азиатской части России (Бессудова и др., 2023), что может быть характерно для обнаруженного нами солнечника. *R. echinata* впервые описан из сфагновых болот; последующие и наша находка также были изолированы из сходных местообитаний (Rainer, 1968; Микрюков 2002, Плотникова и др., 2018), что может говорить о биотопической приуроченности.

Клетки в культуре *A. cf. trifurca* за непродолжительное время инцистировались, после чего наблюдался массовый пик численности в высевах при сниженной температуре. Можно предположить, что способность быстро переходить в криптобиотические стадии, образуя покоящиеся цисты, является адаптивной стратегией к условиям непостоянного увлажнения и резкого изменения температур в климате Арктики.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ по направлению «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Нанотехнологии» Научного парка СПбГУ.

## Centrochelic heliozoa (Haptista: Centroplasthelida) of the Arctic region

Dmitrovskaya S.\*, Poluzerov S.

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

\* e-mail: dmitrovskaya.sovi@gmail.com

We have studied three species of centrochelic heliozoa using light and scanning electron microscopy. One of the findings differs from existing diagnoses in a number of parameters, which may indicate the identification of a new species. Two species are often found in wet moss habitats.

## Ультроструктурные данные нового вида рода *Dermamoeba* (Amoebozoa: Discosea)

Чикадзе Е.Д.<sup>1\*</sup>, Мезенцев Е.С.<sup>1</sup>, Камышацкая О.Г.<sup>2</sup>, Коломытцева А.К.<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: lizapetrova842@gmail.com

Амебы рода *Dermamoeba* широко распространены в природе и в основном населяют почвенные и пресноводные местообитания. Морфологические особенности локомоторных форм позволяют отнести дермамеб к языковидному морфотипу; также они обладают уникальными многослойными толстыми клеточными покровами, которые являются гипертрофированным гликокаликсом. В литературе описывают от 3 до 4 слоев: основной, состоящий из плотноупакованного веретенообразного материала, комковатый, слой фибрилл, идущих перпендикулярно мембране, и внешний, состоящего из аморфного матрикса.

Разнообразие диеты дермамеб указывает на их важное место в трофических цепях. Несмотря на широкое распространение и важность для почвенных биотопов, на сегодняшний день описано всего четыре вида, а молекулярные данные имеются лишь для двух. Все это дает основание предположить, что разнообразие группы недоизученно.

Нами были изолированы три штамма амеб из проб мха из Дальних Зеленцов (у биостанции), а также почвы и листового опада с Кипра (у водопада Кремиоти). По результатам морфологического анализа штаммы 165 и DZinst были отнесены к виду *D. fibula*, а штамм 149 не удалось отнести ни к одному из известных видов. Однако анализ последовательности гена *COI* показал, что все три штамма относятся к одному новому виду. Попарное сравнение показало, что последовательности, полученные из амеб штаммов 149 и 165, были полностью идентичны, а у DZinst имелись небольшие отличия, не влияющие на аминокислотную последовательность.

Расхождение молекулярных и морфологических данных может говорить о том, что идентификация по морфологии не всегда точна и необходимо опираться на молекулярные данные, поскольку морфологические признаки дермамеб скудны, а некоторые могут по-разному проявляться из-за условий культивирования.

Полученные нами данные об ультроструктуре клеточных покровов амеб штамма DZinst соответствовали общему плану строения покровов амеб этого рода. Однако покровы клеток изученного штамма не имели комковатого слоя, который присутствовал на микрофотографиях других видов. Ядрышко, строение которого может являться важным определительным признаком, состояло из не очень плотно упакованного зернистого материала, похожее строение ядрышка описывали в работах Смирнова с соавторами (2011) и Мезенцева с соавторами (2023).

Несмотря на то, что в общих чертах покровы нашего штамма похожи на покровы известных видов этого рода мы обнаружили некоторые различия в их строении. Возможно, этот ультроструктурный признак можно будет использовать для видовой идентификации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-74-00050 с использованием оборудования РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Культивирование микроорганизмов», «Биобанк» Научного парка СПбГУ.

## Ultrastructural data of a new species of the genus *Dermamoeba* (Amoebozoa: Discosea)

Chikadze E.<sup>1\*</sup>, Mezentssev E.<sup>1</sup>, Kamyshatskaya O.<sup>2</sup>, Kolomytseva A.<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

\* e-mail: lizapetrova842@gmail.com

We isolated three strains of amoebae different in morphological features, however, according to molecular data, assigned to one new species. Ultrastructural data of the covers of one of the strains showed differences in the structure of the glycocalyx compared to the covers of already described species.

## Новый представитель рода *Nucleophaga* (Holomycota), внутриядерных паразитов протистов

Шкляр А.А.<sup>1\*</sup>, Насонова Е.С.<sup>1,2</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: arseniy.shklyar@yandex.ru

Представители рода *Nucleophaga* — внутриядерные облигатные паразиты различных простейших: амёб, жгутиконосцев и, предположительно, некоторых инфузорий. Еще с момента первоописания этого рода он помещался в состав группы Chytridiomycota вместе с морфологически сходными родами паразитов простейших. В настоящий момент род *Nucleophaga* рассматривают либо как одну из ранних линий грибов (в составе Rozellomycota), либо, в альтернативной системе, как близких родственников грибов в составе группы Opisthophagea.

Несмотря на сравнительно долгую историю изучения организмов из рода *Nucleophaga*, все еще остаются неясными ключевые моменты их жизненного цикла — механизм попадания спороплазмы из поглощенной хозяином споры нуклеофаги в его ядро. Этот процесс не был описан или задокументирован. В настоящий момент в составе рода описано три представителя, поражающих различных амёб из рода *Thecamoeba*. Однако учитывая немногочисленность случаев изоляции из среды этих паразитов, вероятно, разнообразие представителей этой группы еще крайне малоизучено.

Изученный нами штамм был выделен из амёб *Thecamoeba* sp., изолированных из мха, собранного на стволе ивы узколистной, растущей на берегу высокогорного озера Амут (Солнечный район Хабаровского края). Зараженный штамм морфологически сходен с *T. aesculea*, видом амёб, возможность заражения которого ранее не была показана для представителей рода *Nucleophaga*. Обнаруженный паразит имеет морфометрические отличия от описанных ранее видов нуклеофаг. Из спор, выделенных из единичной зараженной клетки хозяина, была экстрагирована ДНК, проведена полногеномная амплификация и с помощью ПЦР получена последовательность гена 18S рРНК, которая имела явные отличия от последовательностей этого гена других нуклеофаг; уровень идентичности колебался в пределах 95,2–97,7 %. Совокупность вышеперечисленных особенностей изученного штамма позволяет предполагать, что мы столкнулись с новым видом из рода *Nucleophaga*.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ № 23-74-00071 и с использованием оборудования РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Культивирование микроорганизмов» и «БиоБанк» Научного парка СПбГУ.

## A new isolate of the genus *Nucleophaga* (Holomycota), intranuclear parasites of protists

Shklyar A.<sup>1\*</sup>, Nassonova E.<sup>1,2</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

\* e-mail: arseniy.shklyar@yandex.ru

We isolated a strain of an intranuclear parasite belonging to the genus *Nucleophaga*, which infects amoebae of the genus *Thecamoeba*. The light-microscopic and molecular data we obtained suggest that we have discovered a new member of the genus *Nucleophaga*.

## Есть ли жизнь на ставромедузе?

Согомонян К.С.\*, Домрачева М.М., Хабибулина В.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: karinasog96@gmail.com

Представители группы Cnidaria часто вступают в симбиотические отношения с различными организмами: от членистоногих и моллюсков до протистов и бактерий. Характер этих симбиотических отношений варьирует от паразитизма и факультативного сожительства до облигатного мутуализма. Однако зачастую исследования симбиоза книдарий с другими организмами ограничиваются изучением модельных объектов или сложных сообществ кораллов. Поэтому целью нашей работы стало исследование разнообразия микроорганизмов, ассоциированных с распространенной сидячей медузой *Haliclystus auricula*. Эти медузы широко распространены в северных морях и часто образуют многочисленные скопления на водорослях в приливной зоне.

Медузы *H. auricula* (Cnidaria: Staurozoa) были собраны во время отлива в губе Дальнезеленецкой Баренцева моря в июле–августе 2023–2024 гг. Собранные особи были обследованы визуально с помощью оптической микроскопии, также был произведен посев слизи с медуз на культуральные среды для выявления протистов. Для исследования бактериального микробиома *H. auricula* было проведено метагеномное секвенирование варибельного участка VIII-IV гена 16S рНК.

В результате визуальных наблюдений и посева культур было выявлен ряд представителей Amoebozoa, вероятно, ассоциированных с *H. auricula*. Это, во-первых, амобы из группы Euamoebidae, которые были обнаружены в посевах. Во-вторых, это амобы из группы Cutosea, которые были выявлены в том числе с помощью трансмиссионной электронной микроскопии. Тем не менее, характер отношений между *H. auricula* и данными протистами не ясен.

Анализ бактериального микробиома *H. auricula* выявил его существенные отличия от прежде описанных микробиомов других книдарий. Вероятно, это объясняется непосредственным влиянием микробиоты Баренцева моря, так как некоторые морские бактерии могут использовать поверхность медузы, как удобное место обитания. Тем не менее, нам удалось выявить 18 родов бактерий, составляющих коровый микробиом медузы: *Colwellia* sp., *Marinomonas* sp., *Pseudoalteromonas* sp., *Aliivibrio* sp., *Neptunomonas* sp., *Vibrio* sp., *Polaribacter* sp., *Profundimonas* sp., *Paraglaciecola* sp., *Oleispira* sp., *Pseudoteredinibacter* sp., *Psychrosphaera* sp., *Photobacterium* sp., *Shewanella* sp., *Moritella* sp., *Psychromonas* sp., *Pacificibacter* sp. и *Sulfitobacter* sp. Эти бактерии с наибольшей вероятностью могут вступать в симбиотические отношения с *H. auricula*.

Таким образом, нам удалось выявить несколько протистов, ассоциированных с *H. auricula*, а также впервые для этого класса книдарий описать состав бактериального микробиома. Дальнейшие исследования как *H. auricula*, так и других книдарий, обитающих в полярных морях, помогут установить характер их взаимодействий с симбионтами и степень влияния симбионтов на их жизнедеятельность.

За помощь в работе мы благодарим Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН), а также А.А. Кудрявцева, Лаборатория клеточной и молекулярной протистологии ЗИН РАН.

## Is there life on stauromedusa?

Sogomonyan K.\*, Domracheva M., Khabibulina V.

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

\* e-mail: karinasog96@gmail.com

Cnidarians often enter into various symbiotic relationships with different organisms. The aim of our work was to study the diversity of microorganisms associated with the common staurozoan jellyfish *Haliclystus auricula*. For the first time we revealed several groups of ameboid protists, associated with it, and described the bacterial microbiome.

## **Выявление актин-связывающих белков альфа актинина 1 и 4 в клетках разных тканей морской звезды *Asterias rubens***

*Васильева И.А.<sup>1\*</sup>, Диктовная М.В.<sup>1</sup>, Шарлаимова Н.С.<sup>2</sup>, Петухова О.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт Биомедицинских систем и биотехнологий, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, центр коллективного пользования «Коллекция культур клеток позвоночных», группа Биоресурсная коллекция культур клеток позвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: vas.ira0367@gmail.com

Иглокожие характеризуются выдающимися способностями к регенерации. Развитию молекулярных исследований способствует прочтение геномов, транскриптомов и протеомов различных групп. Для представителей иглокожих нехарактерно образование опухолей, они могут служить источником веществ, которые обладают антикоагулирующими, антимикробными и, вероятно, антиопухолевыми свойствами, что может быть использовано в медицинской практике. Все эти характеристики выводят иглокожих и, в частности, морских звезд, на новый уровень в качестве модельных объектов изучения молекулярных и клеточных механизмов регенерации. Целомоциты населяют целом, вторичную полость тела многоклеточных животных, выстланную целомическим эпителием. Обновление клеток происходит как для обеспечения нормального тканевого гомеостаза, так и в ответ на инфекцию или травму. Целью работы является изучение закономерностей поддержания и восполнения популяции клеток целомической жидкости, целомоцитов, морской звезды *Asterias rubens*, представителя иглокожих.

В качестве основного источника целомоцитов предполагается целомический эпителий. Восполнение популяции целомоцитов не сопровождается делением клеток. Предполагается участие процессов трансдифференцировки/дифференцировки специализированных клеток или участие стволовых или резервных клеток. Поиск биомаркеров отдельных типов клеток является важным этапом исследования. Протеомный анализ, проведенный в ЦКП Института цитологии РАН, выявил ряд белков, которые потенциально могут служить белковыми маркерами определенных типов клеток. Одним из таких белков-кандидатов является актинино-подобный белок. Анализ последовательности этого белка предположил, что это может быть актинин 4.

Задачей работы является выявление актинино-подобных белков в клетках некоторых тканей и органов морской звезды методом непрямой иммунофлуоресценции. В целом, только небольшая часть гетерогенных популяций исследуемых суспензий клеток позитивна в отношении антител против актинина 1 или 4. Выявлены существенные качественные различия в локализации актинина 1 и 4. Для актинина 1 характерна диффузная локализация или же примембранная локализация в клетках. Актинин 4 выявляется в виде точек по цитоплазме, в виде более крупных агрегатов в цитоплазме, в гранулоцитах и в ядрах отдельных типов клеток. Ядерная локализация позволяет предположить, что актининоподобный белок относится к группе актинина 4. Кроме того, выявление актинина 4 в гранулах гранулоцитов разных тканей морской звезды предполагает, что эти гранулоциты являются мигрирующими клетками.

*Работа выполнена на базе ББС ЗИН РАН мыс Картеш и ИНЦ РАН. Работа выполнена за счет средств, полученных по договорам на изготовление и выдачу образцов коллекционных клеточных линий (доходы по хоздоговорам).*

## **Identification of actin binding proteins, alpha actinin 1 and 4 in cells of different tissues of the *Asterias rubens* starfish**

*Vasileva I.<sup>1\*</sup>, Diktovnaya. M.<sup>1</sup>, Sharlaimova N.<sup>2</sup>, Petukhova O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Institute of Biomedical Systems and Biotechnologies, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, shared research facility “Vertebrate cell culture collection”, Saint Petersburg

\* e-mail: vas.ira0367@gmail.com

The purpose of the work is the study of the possible ways of coelomocyte replenishment in the starfish *Asterias rubens*. The peculiarities of localization of actin-binding proteins, alpha actinin 1 and 4, candidates for the role of marker proteins, in the cells of some starfish's tissues were revealed using the method of indirect immunofluorescence.

## **Особенности организации пищеварительной системы *Styela clava* Herdman (Asciidiacea)**

*Кобелецкая М.А.\*; Темерева Е.Н.*

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

\* e-mail: margarita.kobeletskaya@gmail.com

Асцидии — это хордовые бентосные фильтраторы. Фильтрация происходит в жаберной глотке, где частицы осаждаются на выделяемую эндостилем слизистую сеть, которая на противоположной стороне глотки, где расположен дорсальный орган, скручивается в шнур и отправляется в пищевод. Через пищевод пища попадает в желудок и среднюю кишку, где происходит переваривание, а непереваренные остатки удаляются через анус в атриальную полость. В настоящем исследовании мы изучили строение пищеварительного тракта одиночной асцидии *Styela clava* Herdman.

Особи, собранные в ноябре 2022 и 2024 года и зафиксированные в параформальдегиде (для электронной микроскопии проводилась дофиксация в 2,5 % глутаральдегиде), были анатомированы для описания колокализации органов пищеварительной системы. Гистологическое строение было исследовано с помощью световой микроскопии и трансмиссионной электронной микроскопии. 3D-модель особи получена с помощью компьютерной микротомографии. У исследованного вида пищевод примыкает к дорсальной стороне глотки в ее верхней части, а не расположен на дне глотки, как у других асцидий. Это означает, что эндостиль у *S. clava* протяженный и тянется вдоль вентральной стороны глотки, спускаясь вниз и затем поднимаясь вверх к пищеводу, тогда как дорсальный орган, наоборот, сильно укорочен. Стенки желудка образуют множественные продольные складки, а на дне желудка начинается тифлозол — выпячивание дорсальной стенки средней кишки в просвет желудочно-кишечного тракта. В складке тифлозоля проходят несколько крупных сосудов, которые вместе с остальными многочисленными сосудами в стенке пищеварительного тракта образуют разветвленную сеть. Все отделы пищеварительной системы данного вида снаружи выстланы атриальным эпителием и не связаны с перивисцеральной полостью.

Впервые описанные особенности отличают строение пищеварительной системы *S. clava* от других изученных видов. Поскольку *S. clava* активно колонизирует новые акватории, вытесняя другие виды, мы предполагаем, что обнаруженные особенности обеспечивают большую эффективность питания исследованного вида по сравнению с другими фильтраторами.

## **Peculiarities of the organization of the digestive system in *Styela clava* Herdman (Asciidiacea)**

*Kobeletskaya M.\*; Temereva E.*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: margarita.kobeletskaya@gmail.com

We revealed unique features in organization of the digestive system in *Styela clava*: the upper location of the esophagus, long endostyle, longitudinal stomach folds, and typhlosole with spacious blood vessels forming a branched network. Such features may help *S. clava* to feed more effectively in comparison with other filter-feeders and thereby colonize new water area.

## **Строение кишки и адаптации к матротрофному питанию на ранних этапах развития мшанки *Flustrellidra hispida* (Bryozoa: Gymnolaemata)**

Романова А.С.\*, Котенко О.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

\* e-mail: st114949@student.spbu.ru

Среди разнообразных представителей типа Bryozoa группа Gymnolaemata особенно интересна с точки зрения исследований эволюционных преобразований онтогенеза, поскольку именно у гимнолемных мшанок неоднократно происходит переход от развития во внешней среде с долгоживущей планктотрофной личинкой — к вынашиванию и формированию лецито- или эндотофных личинок, проводящих во внешней среде лишь короткий период. Вынашиваемые личинки получают ресурсы для развития от материнского организма, что сопряжено с значительными изменениями в их строении, в частности — с потерей структур, участвующих в захвате пищевых частиц из планктона, с редукцией или утратой пищеварительной системы, а также — с появлением адаптаций к матротрофии. Одним из примеров подобных онтогенетических преобразований является гимнолемная мшанка *Flustrellidra hispida*, вынашивающая потомство в модифицированном щупальцевом влагалище. В период вынашивания эмбрионы и личинки кратно увеличиваются в размерах, что свидетельствует о наличии матротрофного питания. Однако информация о том, как эмбрионы получают питательные вещества для развития, отсутствует. Благодаря исследованиям ранних авторов (Prouho, 1890; Pace, 1906) известно, что личинки *F. hispida* имеют рудиментарный кишечник, однако до сих пор не установлено, как происходит закладка и развитие кишки, участвует ли она в физиологических процессах в ходе развития, а также — сохраняется ли кишка (или ее части) при метаморфозе. Целью нашей работы является исследование строения рудиментарного кишечника и его преобразований в ходе развития и метаморфоза, а также выявление адаптаций к матротрофии у эмбрионов и личинок *F. hispida*.

Мы исследовали эмбрионы, личинки и анцеструлы *F. hispida* с помощью гистологических методов, а также при помощи трансмиссионной и сканирующей электронной микроскопии. С помощью полихромных окрасок гистологических и полутонких срезов мы получили новые данные о формировании кишки у личинок, а также уточнили ее анатомическое строение на разных стадиях развития. Ультрамикроскопические исследования клеточного состава эпителия стенок разных отделов кишки позволили сделать предположения о физиологических функциях клеток различных типов. Кроме того, исследуя ультратонкое строение эмбрионов и личинок, мы выявили на их ранних стадиях развития специализированные участки покровного эпителия с большим количеством микроворсинок и развитым гликокаликсом.

Предварительные результаты свидетельствуют о том, что 1) рудиментарный кишечник активно не участвует в питании личинок, однако клетки передней и средней частей кишки используются для запасаания веществ, 2) эмбрионы и личинки поглощают вещества через покровы, 3) к моменту выхода личинок во внешнюю среду эпителизацию сохраняет только передний отдел кишки.

## **Gut structure and adaptations to matrotrophy in the early stages of development of the bryozoan *Flustrellidra hispida* (Bryozoa: Gymnolaemata)**

Romanova A. \*, Kotenko O.

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

\* e-mail: st114949@student.spbu.ru

Despite loss of need and ability to feed, larvae of *Flustrellidra hispida* retain vestigial gut. We have studied its anatomy, tissue composition and fate at metamorphosis to understand how gut functions in non-planktotrophic larvae.

## **Сравнительный анализ строения хобота *Admete cf. viridula* (Gastropoda: Neogastropoda) с предположением о типе питания**

Агунович К.К. \*, Ворцenneва Е.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

\* e-mail: katya.agunovich@yandex.ru

Neogastropoda — это многочисленный и широко распространенный отряд брюхоногих моллюсков из подкласса Caenogastropoda. Основной отличительной особенностью его представителей является хобот — удлиненная передняя часть головы, вмещающая в себя передний отдел пищеварительной системы. Хобот видоизменился в разных семействах настолько, что виден широкий спектр приспособлений к питанию, однако имеются и общие черты. Синапоморфией отряда является ресничная клапан пищевода (клапан Лейблейна), расположенный в хоботе и предотвращающий выбрасывание пищи наружу. В хоботе находится радула, однако есть случаи ее редукции у неогастропод из базального семейства Cancellariidae, для всех представителей которого отмечено наличие хитиновой челюсти с неясной функциональной ролью в кончике хобота. Биология питания большинства канцеляриид неизвестна, поэтому изучение морфологии их пищедобывательного аппарата и поведения представляется актуальным.

Целью работы стал сравнительно-анатомический анализ хобота и переднего отдела пищеварительной системы безрадульного моллюска *Admete cf. viridula* с выявлением пищевых предпочтений.

Материал собран вблизи ББС МГУ в Кандалакшском заливе Белого моря, преимущественно тралом Сигсби. В течение двух недель в условиях холодной комнаты при температуре воды 2 °С проводились наблюдения за живыми взрослыми моллюсками *A. cf. viridula*. В работе использовались методы конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, световой микроскопии гистологических срезов (6 мкм, 800 нм), компьютерной микротомографии, сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии.

По итогам прижизненных наблюдений было описано поведение моллюсков, на основе которого были сделаны выводы об особенностях их содержания. Челюсть является тонким хитиновым слоем, выстилающим буккальную полость, и имеет мягкую структуру. Буккальную массу формируют клетки с миофибриллами, что указывает на сократимость. Описано разнообразие мускулатуры в кончике хобота. Слюнные железы и пищевод поддерживаются собственными мышечными волокнами. Клапан Лейблейна слабо развит в сравнении с другими неогастроподами. По изученной морфологии предложен механизм движения всех структур в составе хобота во время питания. Предложен также сосущий тип питания, при котором тонкий длинный хобот достигает труднодоступных мест и прокалывает мягкие ткани, например, полихет в трубках или моллюсков. В будущем актуальным станет изучение развития хобота у лецитотрофных личинок адмет.

## **Comparative analysis of the structure of the proboscis of *Admete cf. viridula* (Gastropoda: Neogastropoda) with an assumption about the type of nutrition**

Agunovich K. \*, Vortsepneva E.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: katya.agunovich@yandex.ru

We have assumed the type of nutrition based on lifetime observations in cold room and the studied general and fine morphology of the proboscis using multiple methods of neogastropod snails *Admete cf. viridula* from the White Sea, for which the absence of radula and the presence of a jaw are known.

## **Разнообразие окраски передней части моллюсков *Peringia ulvae* и *Ecrobia ventrosa* в вершине Кандалакшского залива Белого моря**

Белоконь Е.В. \*, Сучилкин М.А., Полоскин А.В.

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), ЭБЦ «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

\* e-mail: ekaterinabelokon00@gmail.com

Особенностям окраски мягких тканей моллюсков уделяется мало внимания, хотя в некоторых случаях окраска может служить хорошим определительным признаком (Голиков, 1987). В этом аспекте интересно рассмотреть системы внешне схожих видов. В Белом море обитают *Peringia ulvae* и *Ecrobia ventrosa*, ранее относящихся к одному роду *Hydrobia*. Сходство этих моллюсков настолько велико, что до 1976 года (Кондратенков, 1976) считалось, что в Белом море обитает лишь один вид. В дальнейшем, благодаря серии работ А.М. Горбушина (1992, 1995), были показаны различия в строении раковины и половой системы, а также в экологии и жизненных циклах этих моллюсков. Однако окраске мягких тканей моллюсков было уделено мало внимания, хотя зарубежные авторы, такие как Falniowski A. (1987) и Muus V.J. (1962), показали, что у некоторых видов моллюсков из рода *Hydrobia* есть характерные формы окраски головы и щупалец. А.Р. Гафарова и А.В. Полоскин (2019) описали ряд морфотипов окраски головы и щупалец *P. ulvae* на основании степени пигментации щупалец и наличия светлых фигур в окраске головы моллюсков. К тому же было показано, что соотношение морфотипов может значительно различаться в отдельных поселениях.

В 2022 году работа по исследованию окраски *P. ulvae* и *E. ventrosa* была продолжена. На основании анализа окраски головы и щупалец живых *P. ulvae* размером более 1 мм выделено и описано 5 типов окраски, имеющих характерные отличительные черты.

Изучив соотношение морфотипов в поселениях *P. ulvae* на разных горизонтах литорали, мы показали, что более темные морфотипы чаще встречаются на верхнем горизонте литорали.

Для *E. ventrosa* нам не удалось выделить типы окраски, имеющие яркие отличительные черты. Однако у данного вида наблюдается очень четкая консервативная окраска на конце щупалец в виде тонкой продольной черты. Стоит отметить, что такой окраски щупалец у *P. ulvae* мы не встречали никогда. В 2023 году было проведено сравнение конхиологических признаков, формы пениса и окраски щупалец у 40 моллюсков *E. ventrosa* и показано, что у всех этих особей окраска щупалец сходна и отличается от окраски щупалец *P. ulvae*.

Окраска мягких тканей позволяет различать *P. ulvae* и *E. ventrosa* без использования конхиологических признаков. Изменение доли морфотипов в поселениях *P. ulvae*, расположенных вдоль градиента осушки, открывает возможности поиска экзогенных или эндогенных факторов, влияющих на формирование окраски мягких тканей.

## **Diversity of coloration of the anterior part of the mollusks *Peringia ulvae* and *Ecrobia ventrosa* in the top of the Kandalaksha Bay of the White Sea**

Belokon E. \*, Suchilkin M., Poloskin A.

Laboratory of Marine Benthos Ecology (Hydrobiology), Ecological and Biological Center “Krestovsky Island”, Saint Petersburg

\* e-mail: ekaterinabelokon00@gmail.com

We studied and described the pigmentation of the anterior part of the body of the mollusks *Peringia ulvae* and *Ecrobia ventrosa*. Characteristic morphotypes were identified for *P. ulvae*. It is problematic to identify morphotypes for *E. ventrosa*, but they have conserved coloration at the tip of the tentacles.

## Новый вид прогенетических аннелид из Белого моря (Dorvilleidae, Annelida)

Королева А.С.\*, Колбасова Г.Д., Неретина Т.В., Цетлин А.Б.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

\* e-mail: anyakor99@gmail.com

Dorvilleidae — небольшое семейство аннелид из отряда Eunicida, многие представители которого ведут интерстициальный образ жизни. Все дорвиллеиды демонстрирует сохранение во взрослом возрасте такого, вероятно, древнего признака, как наличие ресничных шнуров на туловищных сегментах. У некоторых родов наблюдается разная степень проявления личиночных признаков: маленький размер, отсутствие антенн, параподий или даже соответствующих им пучков щетинок. Настоящая работа посвящена одной интересной находке, демонстрирующей крайнюю степень педоморфоза в семействе Dorvilleidae.

Описываемый вид аннелид был найден при разборе мейобентосных проб из Белого моря около ББС МГУ. По своему виду он настолько напоминал метатрохофору — типичную позднюю личинку кольчатых червей, что в начале был принят за стадию развития непонятого вида беломорских аннелид. Все найденные особи не превышали 600 мкм в длину и состояли из шести туловищных сегментов, наряду с простомиумом и пигидием. Двигались они за счет развитых ресничных шнуров — невротроха и паратрохов, опоясывающих каждый сегмент. В световой микроскоп сквозь покровы тела ясно просвечивали глаза, зеленоватая кишка и пара крупных фарингеальных желез. Однако летом 2023 года у одной из особей были найдены странные крупные клетки, напоминающие ооциты. Дальнейшее изучение срезов при помощи ТЭМ показало, что среди найденных «личинок» есть самцы и самки с развитой половой системой. Молекулярные исследования показали, что найденные животные скорее всего являются новым видом семейства Dorvilleidae.

К настоящему времени известно всего два случая настолько сильного педоморфоза у дорвиллеид — это виды *Neotenotrocha sterreri* (Бермудские о-ва) и *Apodotrocha progenerans* (восточное побережье Сев. Америки) из соответствующих монотипических родов. Оба вида имеют некоторые схожие черты с беломорскими особями, однако наибольшее сходство беломорской дорвиллеиды наблюдается с *A. progenerans*. К сожалению, для обоих упомянутых видов нет никаких молекулярных данных.

Таким образом, по результатам морфологического и молекулярного анализа мы считаем, что найденные нами беломорские особи относятся к семейству Dorvilleidae и являются новым для науки видом из рода *Apodotrocha*.

## New progenetic species of Annelida from the White Sea (Dorvilleidae, Annelida)

Koroleva A. \*, Kolbasova G., Neretina T., Tzetlin A.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

\* e-mail: anyakor99@gmail.com

A new annelid species resembling a metatrochophore larva was found in the White Sea. Despite its larval appearance, the specimens have gonads. Thus, molecular and morphological analyses indicate that it is a new progenetic species from the family Dorvilleidae, likely belonging to the genus *Apodotrocha*.

## **Тайная жизнь *Arenicola marina*. Как у нас не получилось поставить цикл развития и найти личиночные стадии пескожила**

*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](mailto:barmasovagalina@yandex.ru)

Пескожил *Arenicola marina* (Annelida, Arenicolidae) — один из массовых литоральных видов Северной Атлантики (Newell, 1948; Farke, Berghuis, 1979). Эти черви известны своими многочисленными поселениями на илисто-песчаных побережьях, где можно найти характерные скопления холмиков, являющихся частью норки этого животного. Несмотря на кажущуюся всестороннюю изученность пескожила, до сих пор остается масса вопросов, касающихся его жизненного цикла и личиночного развития. Целью данной работы стало сопоставление литературных данных об особенностях размножения и развития пескожила *Arenicola marina* с результатами наших наблюдений на Белом море.

Сбор *A. marina* был осуществлен в течение полевого сезона 2024 года в окрестностях ББС МГУ им. Н.А. Перцова. Было собрано более 150 взрослых особей. У червей определяли возраст (по массе), пол и степень зрелости (половые клетки в целомической жидкости). Чтобы получить личиночную культуру мы пытались индуцировать вымет половых продуктов у самцов и самок. Также мы провели 22 попытки искусственного оплодотворения в лаборатории. Попытки сбора личинок раннего возраста были выполнены в июле следующими методами: отмучиванием песка с литорали, из песка внутри трубки зрелой самки, с поверхности грунта планктонной сетью (размер ячейки 50 мкм), с фукоидов и нитчатых водорослей на литорали. Личинок позднего возраста собирали в сентябре из грунта начиная с самых верхних горизонтов литорали и до верхней сублиторали. Во всех случаях пробы грунта или водорослей просматривали под стереомикроскопом на наличие личинок.

Наши наблюдения позволяют сказать, что сроки нереста *A. marina* для Белого моря указаны Калякиной Н.М. довольно точно: это промежуток с 20-х чисел июня по 10-е числа июля. Описанные стадии гаметогенеза также соответствовали срокам и соотношению половых клеток самцов и самок, собранных нами (Калякина, 1985).

Однако ни один из испробованных нами способов искусственного оплодотворения не привел к развитию зиготы дальше пары первых дроблений. Нам также не удалось обнаружить личинок пескожила на литорали ни в июле, ни в сентябре. Вероятно, оплодотворение и ранее развитие происходит внутри хода норки, что делает почти невозможным успешный сбор яиц и личинок. Однако похоже, что данные по развитию пескожила противоречивы и содержат множество неточностей и нестыковок. Все это невероятно усложнит работу с развитием *A. marina*.

*Работа выполнена на базе ББС МГУ им. Н.А. Перцова в рамках темы госзадания «Эволюционный морфогенез и молекулярно-генетические основы разнообразия протистов и беспозвоночных животных» (№ 125012800894-6).*

## **The secret life of *Arenicola marina*. How did we fail to establish the development and didn't find the larval stages of the lugworm**

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

Zoological Institute RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

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

The lugworm *Arenicola marina* is a common species in the North Atlantic's intertidal zone. This study compares literature data on its reproduction and development with our observations from the White Sea. Despite various attempts, artificial fertilization was unsuccessful, and larvae collection was impossible, highlighting inconsistencies in existing developmental data.

## Релаксация аннелид: искусство расслабления под действием химических агентов

Козлова А.М.<sup>1\*</sup>, Костыгина А.М.<sup>1</sup>, Старунова З.И.<sup>2</sup>, Чава А.И.<sup>3</sup>, Шунькина К.В.<sup>2</sup>, Старунов В.В.<sup>1,2</sup>

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

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

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория экологии прибрежных донных сообществ, Москва

\* e-mail: antonina.koz.m@gmail.com

Обеспечение эффективной релаксации у морских беспозвоночных, в частности — аннелид, является ключевым этапом для проведения точных хирургических манипуляций, особенно в экспериментах по регенерации. Основными средствами для релаксации остаются растворы магнезии ( $MgCl_2$ ), гвоздичного масла и ментола, однако их эффективность и безопасность для некоторых групп беспозвоночных вызывают сомнения у исследователей (Lewbart, 2012). Целью нашего исследования стало изучение влияния различных релаксантов на выживаемость и способность к регенерации у *Pygospio elegans* после проведения оперативных вмешательств.

Для эксперимента были отобраны взрослые, неповрежденные особи *P. elegans*. Червей помещали в растворы релаксантов: 7,5 % раствор  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  на дистиллированной воде; насыщенный раствор гвоздичного масла или ментола на морской воде на 5, 10 и 30 минут. После этого червей отмывали в морской воде и разрезали пополам скальпелем. Прооперированные части помещали в индивидуальные чашки Петри с морской водой и оставляли для регенерации. Были предусмотрены три контрольные группы для оценки влияния на выживаемость: разрезания как такового, релаксантов и условий содержания. Эксперимент длился 7 суток, в течение которых ежедневно визуально оценивали ход регенерации и регистрировали смертность.

В экспериментах с магнезией было показано, что отказ от применения релаксанта при разрезании червей приводит к высоким показателям итоговой смертности как передних (60 %), так и задних регенератов (40 %). Экспозиция в  $MgCl_2$  в течение 5 минут привела к смертности более 60 % всех регенератов. В остальных экспериментальных группах и в контролях с целыми червями итоговая смертность не превышала 15 %, что в целом соответствует уровню смертности в такого рода экспериментах и скорее всего обусловлена индивидуальным состоянием червей. Таким образом, показано, что как отсутствие релаксации, так и недостаточная релаксация перед проведением операции приводят к высокому уровню смертности. Достаточным временем экспозиции для эффективной релаксации  $MgCl_2$  является 10 минут.

В экспериментах с гвоздичным маслом и ментолом важным параметром, который следует учитывать при использовании данных релаксантов, оказалась их концентрация. В насыщенных растворах этих веществ черви погибали даже при коротком времени экспозиции. Снижение концентрации позволило успешно достичь расслабления и снизить смертность. Требуется более точный подход к определению дозировки данных веществ для конкретных видов животных.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (Санкт-Петербург, Россия). Работа выполнена в рамках темы госзадания «Эволюционный морфогенез и молекулярно-генетические основы разнообразия протистов и беспозвоночных животных» (№ 125012800894-6).

## Annelid relaxation: the art of relaxation under the influence of chemical agents

Kozlova A.<sup>1\*</sup>, Kostigina A.<sup>1</sup>, Starunova Z.<sup>2</sup>, Chava A.<sup>3</sup>, Shunkina K.<sup>2</sup>, Starunov V.<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 Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

<sup>3</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Laboratory of Ecology of Coastal Benthic Communities, Moscow

\* e-mail: antonina.koz.m@gmail.com

The effects of relaxants on the regeneration and mortality in the annelid *Pygospio elegans* were studied. We found that the absence or insufficient relaxation with  $MgCl_2$  led to higher mortality rates. While using clove oil and menthol, concentration played a crucial role, with high concentrations causing death rapidly.

## Ультраструктура кутикулы тихоходок *Testechiniscus* sp. в контексте филогенетических отношений в пределах семейства Echiniscidae

Кочергина Н. А.<sup>1,2\*</sup>, Туманов Д. В.<sup>1,3</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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория морских исследований, Санкт-Петербург

\* e-mail: st089566@student.spbu.ru

Тихоходки представляют собой билатерально-симметричных микроскопических многоклеточных животных. Они обитают в различных биотопах, включая морскую интерстициаль, дно пресноводных водоемов, временные микроводоемы на суше и ледниковые криокониты. Тип Tardigrada входит в таксон Panarthropoda вместе с онихофорами и артроподами и разделяется на два класса: Eutardigrada и Heterotardigrada. В класс Heterotardigrada входят отряды Arthrotardigrada и Echiniscoidea.

Также среди представителей класса Heterotardigrada существует нетаксономическая группа панцирных тихоходок, формирующих кутикулярные щитки. Обычно считается, что щитки артротардиград сформированы гипертрофированной прокутикулой, в то время как щитки представителей отряда Echiniscoidea (семейство Echiniscidae) образованы в основном гипертрофированной эпикутикулой. Строение кутикулы тихоходок является одним из немногочисленных морфологических признаков, которые лучше всего соответствуют молекулярной филогении группы, поэтому широко используется в таксономии семейства Echiniscidae. Однако электронно-микроскопические данные об ультраструктуре кутикулы в литературе представлены только для небольшого числа видов панцирных тихоходок.

Объектом этого исследования является новый вид рода *Testechiniscus* с Новой Земли — представитель семейства Echiniscidae (отряд Echiniscoidea). Для большинства представителей этого семейства характерны хорошо выраженные дорсальные щитки, но род *Testechiniscus* выделяется среди остальных наличием также хорошо выраженных вентральных кутикулярных щитков. Целью нашего исследования было выяснить, проявляется ли филогенетическая обособленность рода *Testechiniscus* в строении кутикулы на ультраструктурном уровне.

В ходе этой работы с использованием трансмиссионной электронной микроскопии было проведено исследование ультраструктуры дорсальной и вентральной кутикулы тихоходок этого вида. В кутикуле исследованного вида было выделено восемь ультраструктурных морфотипов кутикулы. Среди них выделяется три морфотипа, соответствующих дорсальным щиткам, три морфотипа, соответствующих вентральной кутикуле за пределами щитков и два морфотипа, соответствующих вентральным кутикулярным щиткам: генитальному и срединному вентральному.

Обнаруженные ультраструктурные признаки хорошо согласуются с положением рода *Testechiniscus* на филогенетическом древе семейства Echiniscidae, поскольку в ультраструктуре кутикулы прослеживаются как признаки, характерные для наиболее продвинутых эхинисцид, так и признаки, характерные для более базальных панцирных артротардиград. Ряд обнаруженных структур является уникальными, ранее не обнаруженными у тихоходок.

## Cuticular ultrastructure of tardigrade *Testechiniscus* sp. in a context of phylogenetic relations within the Echiniscidae family

Kochergina N.<sup>1,2\*</sup>, Tumanov D.<sup>1,3</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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Marine Research Laboratory, Saint Petersburg

\* e-mail: st089566@student.spbu.ru

This study is focused on investigation of cuticular ultrastructure of armoured tardigrade *Testechiniscus* sp. using TEM. The ultrastructural features that have been found are in a good agreement with the position of the genus *Testechiniscus* on the Echiniscidae phylogenetic tree. A number of discovered structures has not been found among water bears previously.

## Видовое разнообразие наземных тихоходок островов Керетского архипелага Белого моря

Мирош А.С.\*, Заботин Я.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

\* e-mail: ASMirosh@stud.kpfu.ru

Тихоходки (Tardigrada) привлекают внимание исследователей своеобразием морфологии и эмбриологии, неясным происхождением и способностью переносить неблагоприятные условия среды, впадая в анабиоз (Дудичев и др., 1999). Несмотря на значительный научный интерес к этой группе беспозвоночных, данные о видовом разнообразии фауны Tardigrada остаются неполными (Туманов, 1997).

Целью данной работы стало изучение видового разнообразия и морфологии наземных тихоходок островов Керетского архипелага Белого моря. Пробы мха собраны в июне 2024 г. в следующих точках: о. Средний, о. Сидоров, о. Матренин и мыс Картеш. В пробе с о. Матренин тихоходки обнаружены не были. Диагностические особенности рото-глоточного аппарата и коготков тихоходок на временных препаратах исследовались с помощью световых микроскопов Микромед 3 (Professional) и Axio Imager.

В пробах было идентифицировано 7 видов тихоходок из класса Eutardigrada Marcus, 1927 (систематика приведена по Bingemer, Hohberg, 2017): *Milnesium tardigradum* Doyere, 1840 (отряд Apochela Schuster et al., 1980; семейство Milnesiidae Ramazzotti, 1962), *Macrobiotus hufelandi* Schultze, 1834, *Mesobiotus montanus* Murray, 1910 (отряд Parachela Schuster et al., 1980; семейство Macrobiotidae Thulin, 1928), *Astatumen trinacriae* Arcidiacono, 1962, *Adropion belgicae* Richters, 1911, *A. prosirostre* Thulin, 1928 (семейство Hypsibiidae Pilato, 1969), *Isohypsibius dastychi* Pilato, Bertolani & Binda, 1982 (семейство Isohypsibiidae Sands et al., 2008).

Наиболее многочисленным в пробах оказался космополитический вид *Macrobiotus hufelandi* (20 особей), ранее отмеченный в водоемах Республики Карелия (Туманов, 1997) и на территории ББС МГУ (Чесунов и др., 2008). Реже встречались *Milnesium tardigradum* (6 особей), ранее также обнаруженный на территории ББС МГУ (Чесунов и др., 2008), *Mesobiotus montanus* (3 особи) и *I. dastychi* (4 особи), ранее отмеченный в озерах Республики Карелия (Туманов, 1997). Единичными экземплярами были представлены виды *Adropion belgicae*, *A. prosirostre*, ранее отмеченный в озерах Республики Карелия (Туманов, 1997) и *Astatumen trinacriae*, ранее обнаруженный на территории Керетского архипелага (Банникова и др., 2022). Виды *Mesobiotus montanus*, *Adropion belgicae* указываются для региона впервые.

## Species diversity of terrestrial tardigrades of islands of the Keretsky Archipelago of the White Sea

Mirosh A. \*, Zabolin Ya.

Kazan (Volga region) Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

\* e-mail: ASMirosh@stud.kpfu.ru

Tardigrades are of special scientific interest because of their unique morphology and embryology, unclear origin and ability to tolerate adverse environmental conditions. Data on the species diversity of the fauna of Russian tardigrades remain incomplete. Here we report on the species diversity of terrestrial tardigrades from the moss samples from various islands of the Keretsky archipelago of the White Sea.

## Ультраструктурная организация тихоходки *Ramazzottius subanomalous*

Сычевская П.К. \*, Заботин Я.И., Евтюгин В.Г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

\* e-mail: polinask0223@gmail.com

Исследование тихоходок (Tardigrada) очень важно для понимания механизмов устойчивости животных к экстремальным условиям, а также для реконструкции филогении членистоногих, однако на ультратонком уровне эта группа остается слабо изученной. Цель данной работы — изучение ультраструктуры тканей и клеток тихоходок на примере *Ramazzottius subanomalous* (Biserov, 1985). Этот вид характеризуется гладкой кутикулой без скульптуры, пигментацией на спинной стороне в виде полос, коготками типа *ramazzottius*, овальной глоткой с двумя макроплакоидами и скульптурой яиц, представленной мелкими шиповидными или нитевидными выростами, располагающимися хаотично или рядами (Бисеров, 1985).

Тихоходки были собраны летом 2019 г в пробах мха на острове Средний Керетского архипелага Белого моря, зафиксированы целиком в 1 % глютаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере и подготовлены для трансмиссионной электронной микроскопии по стандартной схеме.

В ходе данной работы была исследована ультраструктура кутикулы, эпидермиса, средней кишки и полости тела *R. subanomalous*. Кутикула состоит из 4-х основных слоев: эпикутикулы, разделенной на внешнюю и внутреннюю, интракутикулы и прокутикулы. Ее общая толщина — от 1,2 мкм до 1,6 мкм. Снаружи эпикутикула покрыта шероховатой хлопьевидной оболочкой. Под кутикулой залегает однослойный эпидермис, в крупных клетках которого хорошо просматриваются ядра (до 4,5 мкм в поперечнике) и пигментные гранулы (0,25–0,45 мкм в диаметре). К эпидермису прилегают пучки гладких мышц.

Эпителий средней кишки образован крупными эпителиальными клетками (до 3 мкм в поперечнике); в просвете кишечника были обнаружены пищевые частицы, окруженные перитрофической мембраной.

Полость тела животного заполнена гемоцитами (до 5,5 мкм в поперечнике) — крупными клетками амебоидной формы, выполняющими защитную, запасующую и выделительную функцию. В ней также были обнаружены многочисленные мультиламеллярные тела (от 0,5 до 1,2 мкм в диаметре), которые, по всей видимости, образуются в результате утилизации гемоцитов.

Таким образом, хотя *R. subanomalous* сходен с близкородственными видами по ультраструктуре средней кишки и гемоцитов, однако отличается от них непрерывной на всей поверхности тела хлопьевидной оболочкой эпикутикулы и ультраструктурой пигментных гранул.

## Ultrastructural organization of the tardigrade *Ramazzottius subanomalous*

Sychevskaya P. \*, Zabolin Ya., Evtugyn V.

Kazan (Volga Region) Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

\*e-mail: polinask0223@gmail.com

The study of tardigrades (Tardigrada) is very important for understanding the mechanisms of animal resistance to extreme conditions, as well as for reconstructing the phylogeny of arthropods, but at the ultrastructural level this group remains poorly studied. The aim of this work is to study the ultrastructure of tissues and cells of tardigrades exemplified by *Ramazzottius subanomalous*.

## Ультраструктура сперматозоидов немертины *Tetrastemma candidum* Белого моря

Зайцева Я.В. \*, Евтюгин В.Г., Заботин Я.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

\*e-mail: yvzayceva@kpfu.ru

Немертины — тип беспозвоночных, насчитывающий на сегодняшний день не менее 1275 описанных видов (Kajihara et al., 2008), которые обитают преимущественно в морях. Ультраструктурные особенности сперматозоидов активно применяются в систематике и филогенетике многих групп животных и также могут быть использованы для реконструкции эволюционных преобразований в пределах типа Nemertea.

В связи с этим целью данной работы стало исследование ультраструктуры сперматозоидов *Tetrastemma candidum* (Müller, 1774) (Eumonostilifera: Tetrastemmatidae) с использованием трансмиссионного электронного микроскопа (ТЭМ). Представители *T. candidum* были собраны на литорали о-ва Сидоров (губа Чупа Кандалакшского залива Белого моря). Материал был зафиксирован в 1 % глутаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере и обрабатывался по стандартной методике пробоподготовки для ТЭМ.

Мужские половые клетки *T. candidum* образуют плотные спиральные скопления внутри метамерно расположенных семенников. Сперматозоиды имеют сильно вытянутую веретеновидную форму и состоят из трех отделов: головки, шейки и хвостовой части. Головка сперматозоида содержит ядро и митохондрию. Ядро прижато к мембране клетки; в поперечном сечении имеет сердцевидную форму; достигает около 4 мкм в длину и 350–400 нм в ширину (в самом широком месте). Кариоплазма электронно-плотная, ядрышки не просматриваются. По периметру ядро окружено одним рядом микротрубочек, вероятно, представляющих собой «манжетку», появляющуюся в ходе спермиогенеза. Одна крупная митохондрия примыкает к ядру с вогнутой стороны. В поперечном сечении она имеет правильную округлую форму (400–480 нм в диаметре) и занимает  $\frac{3}{4}$  от длины ядра. Шейка содержит две центриоли, расположенные перпендикулярно друг другу; проксимальная центриоль достигает 250 нм в диаметре, дистальная — 300–350 нм в длину. Сперматозоид *T. candidum* имеет один жгутик, в поперечном сечении его диаметр составляет 200 нм. Аксонема устроена по классической формуле для немертин и большинства зукариот —  $9 \times 2 + 2$ .

Таким образом, сперматозоиды *T. candidum* относятся к модифицированному типу и устроены по характерному плану для рода *Tetrastemma*. Однако представители данного рода характеризуются и видоспецифическими особенностями. В частности, близкородственный вид *T. cerasinum* (Bürger, 1895) отличается от *T. candidum* следующими ультраструктурными признаками: ядро имеет выступы или гребни, дистальная центриоль смещена в сторону относительно проксимальной, и часть электронно-плотного материала откладывается между ними (Bartolomaeus et al., 2023).

## Ultrastructure of spermatozoa in nemertean *Tetrastemma candidum* from White Sea

Zaitseva Ya. \*, Evtugyn V., Zabotin Ya.

Kazan (Volga Region) Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

\*e-mail: yvzayceva@kpfu.ru

Phylum Nemertea includes mainly marine animals with a unique body organization that remain poorly understood in ultrastructural level. Therefore, we studied the morphology and ultrastructure of *Tetrastemma candidum* spermatozoa using a transmission electron microscope.

## Ультраструктура сперматозоидов турбеллярии *Pseudograffilla arenicola*

Хамлюк С.И. \*, Заботин Я.И., Евтугин В.Г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

\* e-mail: SIKhamlyuk@stud.kpfu.ru

Морфология половой системы плоских червей (Plathelminthes) и особенно ультраструктура их сперматозоидов отличается большим разнообразием и широко применяется в систематике и филогенетике этой группы беспозвоночных. В частности, прямокишечные турбеллярии (Rhabdocoela) принадлежат к таксону Тгерахонемата, для которого характерны такие ультраструктурные особенности сперматозоидов, как нитевидная форма, два жгутика с формулой аксоном  $9 + \langle 1 \rangle$  и кортикальные микротрубочки (Ehlers, 1985).

В ходе данной работы с помощью трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) были изучены сперматозоиды турбеллярии *Pseudograffilla arenicola* Meixner, 1938 (Rhabdocoela, Dalytyphloplanida, Graffillidae). Особи были собраны в июле 2024 г. на литорали и в смывах с водорослей на о. Сидоров Керетского архипелага Белого моря. Черви были зафиксированы целиком в 1 % глутаровом альдегиде на 0,1 М фосфатном буфере и подготовлены для ТЭМ по стандартной схеме.

Сперматозоид *P. arenicola* имеет сильно вытянутую форму. Вдоль большей части клетки тянется веретеновидное ядро (до 0,6 мкм в поперечнике). Хроматин представлен электронно-плотными волокнистыми скоплениями, между которыми заметны участки прозрачной кариоплазмы. Цитоплазма спермия заполнена многочисленными митохондриями (0,04–0,3 мкм в поперечнике), расположенными хаотично. Непосредственно под наружной мембраной сперматозоида по всей длине проходит один ряд спирально закрученных кортикальных микротрубочек. Между микротрубочками и органеллами сперматозоида проходят продольные цепочки мелких гранул (около 0,02–0,04 мкм в поперечнике) средней электронной плотности — плотных телец. На проксимальном и дистальном концах сперматозоида не остается других органелл, кроме кортикальных микротрубочек и этих гранул. Сперматозоид снабжен парой свободных жгутиков, которые отходят от дистального конца клетки — сначала под общей мембраной, а далее расходятся и не соприкасаются.

На основе молекулярно-генетических данных в составе Dalytyphloplanida была выделена новая «смешанная клада представителей Neodalyellida» (Van Steenkiste et al., 2013), включающая *P. arenicola*. Сперматозоиды представителей данной клады характеризуются наличием соединенных между собой или инкорпорированных жгутиков, плотных телец и многочисленных отдельных митохондрий. Для прояснения филогенетических отношений в пределах данной клады необходимы дальнейшие исследования ультраструктуры сперматозоидов у других видов.

## Ultrastructure of spermatozoa of the turbellarian *Pseudograffilla arenicola*

Hamlyuk S. \*, Zobotin Ya., Evtugin V.

Kazan (Volga region) Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

\* e-mail: SIKhamlyuk@stud.kpfu.ru

The ultrastructure of spermatozoa of flatworms (Plathelminthes) is very diverse and is widely used in the systematics and phylogenetics of this group of invertebrates. In the present work the spermatozoa of the turbellarian *Pseudograffilla arenicola* Meixner, 1938 (Rhabdocoela, Dalytyphloplanida, Graffillidae) were studied using transmission electron microscopy.