



Санкт-Петербургский
государственный
университет



Учебно-научная база
«Беломорская»

Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2023

Тезисы докладов

Санкт-Петербург
2023

Редакторы:

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

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

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

А.А. Сухотин, к. б. н., заведующий Беломорской биологической станцией «Картеи» Зоологического института РАН

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

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

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

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

В.В. Старунов, к. б. н., ст. н. с кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ

И.Е. Борисенко, к. б. н., ассистент кафедры эмбриологии СПбГУ

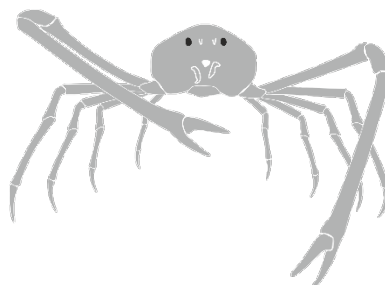
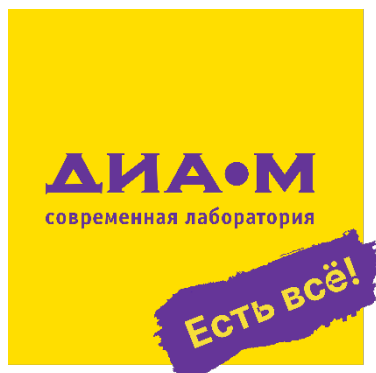
Д.Ю. Крупенко, к. б. н., ассистент кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ

Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2023. Тезисы докладов. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. — 106 с.

ISBN 978-5-4386-2233-8

В сборнике представлены материалы докладов с конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2023» (2–3 февраля 2023 г., Санкт-Петербург). Конференция традиционно посвящена исследованиям, связанным с Арктическим регионом. Она является площадкой, на которой молодые ученые в дружелюбной атмосфере могут поделиться результатами своих оригинальных исследований. Для студентов младших курсов БСНС является прекрасной возможностью попробовать свои силы и представить свои (даже самые первые) результаты. Программа конференции включает доклады приглашенных ученых, а также устные и постерные доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, сгруппированные в пять секций: (1) экология; (2) океанология, геология, почвоведение; (3) ботаника; (4); зоология; (5) эмбриология, молекулярная биология. На конференции представлено более двадцати организаций (вузы, научные институты, заповедники, учреждения дополнительного образования) из разных городов России.

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



СОДЕРЖАНИЕ

ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Марченков А.В.</i> Кандалакшский заповедник. Заповедная наука в заповедной системе.....	9
<i>Горяшко Н.А.</i> Трудная жизнь на островах блаженных. Биостанции в эпоху перемен.....	10
<i>Краснова Е.Д.</i> Экологические метаморфозы отделяющихся от моря водоемов.....	11
<i>Удалов А.А.</i> Донные сообщества заливов архипелага Новая Земля (Карское море).....	12
<i>Субетто Д.А.</i> Палеолимнологические исследование для палеоокеанологических реконструкций (на примере Белого моря).....	13
<i>Толстиков А.В., Чернов И.А.</i> Программный комплекс JASMINE для изучения биогеохимических процессов в Белом море.....	14
<i>Екимова И.А.</i> Голожаберные моллюски Белого моря: состав фауны и происхождение.....	15
<i>Тараховская Е.Р.</i> Специфические метаболиты морских макрофитных водорослей: разнообразие, функции, прикладное значение.....	16
<i>Ivanov M., Podlevskikh A., Ivanova T., Genelt-Yanovskaya A., Kondakova E., Lajus D.</i> Cannibalism in threespine stickleback (<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.) in the White Sea: consequences for the population.....	17

ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭКОЛОГИЯ

<i>Артемьев Г.М., Захаров Д.В., Баталин Г.А., Гареев Б.И., Мингазов Г.З., Сабиров Р.М., Голиков А.В.</i> Щетинкочелюстные Баренцева моря: видовой состав, распределение и трофическая экология по данным анализа стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$).....	18
<i>Шевченко Д.М.</i> К изучению мирмекофауны арктических регионов России: Мурманская область.....	19
<i>Долганова И.А., Хайтов В.М., Сказина М.А., Марченко Ю.Т., Регель К.В., Стрелков П.П.</i> Факторы, определяющие заболеваемость мидий <i>Mytilus trossulus</i> трансмиссивной неоплазией в окрестностях г. Магадан (Охотское море).....	20
<i>Загайнов А.В.</i> Структура таксоцены нематод на градиенте концентрации кислорода в бухте Биофильтров.....	21
<i>Руднева Е.В., Удалов А.А., Залота А.К., Чикина М.В.</i> Изменения донных сообществ центральной части Карского моря в результате вселения краба-стригуна <i>Chionoecetes opilio</i>	22

<i>Герасимова М.А., Алексеева Н.В., Ковалев А.А., Сухотин А.А.</i> Аллометрия метаболизма и количество митохондрий в жабрах моллюска <i>Mytilus edulis</i> L.	23
<i>Валдаева Е.В., Лябзина С.Н.</i> Сообщества раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) особо охраняемых природных территорий Карелии.....	24
<i>Громова А.Д., Стогов И.А., Мовчан Е.А.</i> Реликтовое озеро Могильное (о. Кильдин, Баренцево море): более 100 лет исследований	25
<i>Липухин Э.В., Залота А.К., Симакова У.В.</i> Происхождение личинок краба стригуна <i>Chionoecetes opilio</i> в Карском море	26
<i>Kiselev A., Zalota A.</i> Food spectra of non-indigenous crab <i>Chionoecetes opilio</i> (Fabricius, 1788) in the Kara Sea.....	27
<i>Воева К., Иванова Т., Иванов М., Лажус Д.</i> Is there food competition between cod and navaga in the White Sea?.....	28
<i>Манойлина П.А., Комендантов А.Ю., Шапошникова Т.Г., Халаман В.В.</i> Влияние ограниченности ресурса — свободного пространства — на уровень внутривидовой конкуренции у губок <i>Halichondria panicea</i> (Pallas, 1766).....	29
<i>Ершова Т.А., Хайтов В.М.</i> Реакция беломорских <i>Mytilus edulis</i> и <i>M. trossulus</i> на присутствие морских звезд.....	30
<i>Бритиков А.И., Хайтов В.М.</i> Влияние мидий на жизнедеятельность литоральных брюхоногих моллюсков за счет прикрепления к ним биссусных нитей	31
<i>Федоров Д.Д., Левакин И.А., Николаев К.Е., Галактионов К.В.</i> Повлияет ли изменение климата на инвазионную способность церкарий <i>Himasthla elongata</i> (Trematoda: Himasthliidae)?	32
<i>Зенков Е.А., Семенова Е.В., Аристов Д.А.</i> Различие в экстенсивности инвазии мелких брюхоногих моллюсков <i>Peringia ulvae</i> на разных субстратах на литорали Белого моря.....	33
<i>Кузнецова Э.Ю.</i> Паразиты бесхвостых амфибий острова Средний Керетского архипелага Белого моря	34
<i>Logvinenko A., Gordeev I.</i> Helminths of the marine and freshwater populations of the three-spined stickleback <i>Gasterosteus aculeatus</i> in the water area near the Pertsov White Sea Biological Station	35
<i>Макарова А.С., Степанова Т.С., Дюмина А.В., Унтилова А.А.</i> Описание паразитофауны литоральных ракообразных, собранных в окрестностях поселков Териберка и Дальние Зеленцы	36
<i>Черецкая В.С., Аристов Д.А., Крупенко Д.Ю.</i> Неожиданное препятствие: влияние коконов Turbellaria на закапывание <i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758).....	37
<i>Ефименко Е.М., Дюмина А.В., Булавинова В.И., Унтилова А.А.</i> Сравнительная характеристика структуры биоценозов каменистых литоралей Ярнышной и Долгой губ Баренцева моря	38

<i>Зыкова М.А., Желтова П.А., Унтилова А.А., Булавинова В.И., Дюмина А.В.</i> Сравнительная характеристика структуры литоральных сообществ губы Лодейная и Дальне-Зеленецкая.....	39
<i>Подошвина А.В., Поттер И.А., Дюмина А.В., Булавинова В.И., Унтилова А.А.</i> Выбор субстрата для оседание кольчатými червями <i>Spirorbis</i> spp. на литорали окрестностей поселка Дальние Зеленцы.....	40
<i>Ташибаев Д.У., Садиех С.А., Иванова Т.С., Иванов М.В., Лайус Д.Л.</i> Использование искусственного интеллекта и видеосъемки для изучения миграций трехиглой колюшки в прибрежной зоне Кандалакшского залива Белого моря.....	41
<i>Гаврилова Е.О., Аристов Д.А.</i> Применение кальцеина для изучения роста морских и пресноводных моллюсков.....	42
ОКЕАНОЛОГИЯ, ГЕОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ	
<i>Петрова А.А.</i> Возможности круглогодичного плавания газозовов типа YAMALMAX от Сабетты до Берингова пролива	43
<i>Наконечная А.С., Дубинина Е.О.</i> Изотопные ($\delta^{18}\text{O}$, δD) параметры вод глубоководных желобов Карского моря	44
<i>Денисов А.В.</i> Перспективы нефтеносности отложений мезозойского возраста на Гыданском полуострове по результатам 1Д моделирования	45
<i>Смирнова В.В., Батаев Ю.В., Иоч М.Э., Луговой Н.Н.</i> Типы берегов полуострова Киндо (Кандалакшский залив Белого моря)	46
<i>Прасолов С.Д., Забелина С.А., Климов С.И., Чупаков А.В.</i> Пространственная изменчивость потоков метана с поверхности мелководных бореальных озер	47
<i>Чea С., Смагин Р.Е.</i> Микроклиматические особенности лета 2022 г. для губы Кереть Белого моря.....	48
<i>Писцова М.А.</i> Новые данные о развитии природной среды Кандалакшского берега Белого моря в позднеледниковье–голоцене.....	49
<i>Лебедева М.А., Смагин Р.Е., Петросян Н.В.</i> Комплексная океанологическая съемка в проливах Керетского архипелага летом 2022 года.....	50
<i>Маховиков А.Д., Смагин Р.Е.</i> Исследование залива морских вод в лагуну Колюшковая (с использованием неконтактных методов)	51
<i>Яснопольская А.Д., Маховиков А.Д., Смагин Р.Е.</i> Гидрофронты в губе Кереть	52
<i>Kushnov I., Tembotov R.</i> Biogeochemical and micromorphological features of cryoconites sampled from the Bezengi Glacier, alpine zone of the Central Caucasus.....	53

БОТАНИКА

- Иванова Д.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Радченко И.Г.
Фитопланктон стратифицированного озера Еловое, отшнуровавшегося от Белого моря, в 2021 г.....54
- Васюта В.С.
Эколого-биологическая характеристика *Verbascum nigrum* L. на северной границе ареала55
- Павлова М.А.
Участие галофитов в обмене железа на литорали Белого моря.....56
- Бобко А.С., Сони́на А.В.
Структурные и функциональные особенности эпилитного лишайника *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. на побережье Белого моря (Республика Карелия).....57
- Гудкова К.
Peculiarities of the leaf epidermis of the facultative halophyte *Lathyrus maritimus* s. l.....58
- Исламова Р.Т., Замяткина Е.Б., Гулк Е.И., Яньшин Н.А., Биркемайер К., Тараховская Е.Р.
Динамика содержания фенольных метаболитов в клетках литоральной водоросли *Pelvetia canaliculata* в течение приливного цикла.....59
- Соловьева С.В., Яньшин Н.А., Тараховская Е.Р.
Особенности биохимического состава клеток *Vertebrata fucoides*, расположенных в разных зонах таллома водоросли60
- Яньшин Н.А., Замяткина Е.Б., Тараховская Е.Р.
Изменение биохимического состава морских красных водорослей при снижении рН воды.....61
- Карсонова Д.Д., Билая Н.А.
Характеристика эдафических факторов растительности как компонент дифференциации местообитаний восточноевропейских тундр (м. Костяной Нос, Ненецкий Заповедник).....62

ЗООЛОГИЯ

- Sharoval G., Sharoval N.
Genetic structure of the moorland clouded yellow *Colias palaeno* (Insecta, Lepidoptera, Pieridae) populations from Northernmost European Russia.....63
- Закаржаева П.Н., Жадан А.Э.
Пищедобывательный аппарат полихеты *Pholoe assimilis* (Annelida, Sigalionidae)64
- Домрачева М.М., Хабибулина В.Р.
Особенности строения рупалоидов *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — новый взгляд на функции адгезионных органов.....65
- Петрова М.А., Богомолова Е.В.
Строение мужской половой системы и сперматогенез морского паука *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) (Ruspogonida).....66
- Суркова А.А., Кулишкин Н.С., Кудрявцев А.А., Смирнов А.В.
Новые данные о морфологии и молекулярной филогении пресноводной амёбы *Cochliopodium vestitum* (Archer, 1871) Archer, 1877 (Amoebozoa, Himatismenida)67

<i>Кокуркина Ю.А., Грум-Гржимайло О.А., Ежова О.В.</i> Грибы, ассоциированные с полухордовым кишечнойдышащим <i>Saccoglossus mereschkowskii</i> (Wagner, 1885) из Белого моря.....	68
<i>Селюк А.О., Кремнев Г.А., Крупенко Д.Ю., Карнов С.А.</i> Ультраструктура и жизненный цикл <i>Piridium sociabile</i> (Chrompodellida) — паразита брюхоногого моллюска <i>Viccinum undatum</i>	69
<i>Арбузова Н.А., Лянгузова А.Д., Миролюбов А.А.</i> Сравнительный анализ морфологии экстерн и их роль в транспорте питательных веществ у представителей группы Rhizocephala (Crustacea: Cirripedia).....	70
<i>Grishina D., Schepetov D., Ekimova I.</i> Integrative taxonomy and phylogeography of <i>Eubranchus</i> species (Gastropoda: Nudibranchia) from Russian seas	71
<i>Братчикова Ю.А., Семин В.Л., Неретина Т.В., Колбасова Г.Д., Краснова Е.Д., Цетлин А.Б.</i> Комплекс видов <i>Polydora</i> cf. <i>ciliata</i> Johnston, 1838 (Annelida, Spionidae) в Белом море	72
<i>Tsvetkova A., Tumanov D.</i> Description of a new species from the genus <i>Tenuibiotus</i> (Tardigrada) from Spitsbergen.....	73
<i>Koroleva A., Tzetlin A.</i> Fine morphology of jaw apparatus of <i>Scoletoma fragilis</i> (Lumbrineridae, Eunicida, Annelida).....	74
<i>Likhacheva G., Cherneva I.</i> Ultrastructure of the frontal end of the <i>Arctostemma arcticum</i> (Nemertea, Monostilifera).....	75
<i>Antonovskaia K.</i> Features of the systematics of macrotaxa of branchiopods (Crustacea: Branchiopoda)	76
<i>Ратновская А.В.</i> Строение нервной системы мантии брахиоподы <i>Hemithiris psittacea</i> (Rhynchonelliformea: Rhynchonellida)	77
<i>Уразаева А.О., Кособокова К.Н., Темерева Е.Н.</i> Анатомия и гистология половой системы глубоководной хетогнаты <i>Eukrohnia hamata</i>	78
<i>Кожин И.В.</i> Какие <i>Bivalvia</i> болеют трансмиссивным раком?	79
<i>Кулишкин Н.С., Суркова А.А., Смирнов, А.В.</i> Новый представитель рода <i>Flabellula</i> (Tubulinea, Leptomyxida) из глубин Белого моря.....	80
<i>Мезенцев Е.С., Суркова А.А., Кулишкин Н.С., Таймарова К.М., Смирнов А.В.</i> Проблемы идентификации видов текамиебид (Amoebozoa; Discosea; Thecamoebida) на морфологическом и молекулярном уровнях.....	81
<i>Таймарова К.М., Мезенцев Е.С., Камышацкая О.Г.</i> Морфология и филогенетическое положение амёбы семейства Hartmannellidae (Amoebozoa: Tubulinea), изолированной из Ботанического Сада СПбГУ	82
<i>Полузеров С.А.</i> Полиморфизм у центрохелидных солнечников <i>Acanthocystis turfacea</i> : роль симбиоза с хлореллами	83

<i>Прилуцкий М.Е., Паскерева Г.Г.</i> Паразитизм и смежные явления среди динофлагеллят (Dinoflagellata, Alveolata).....	84
<i>Максимова М.С., Курсачева Е.С., Бенкен К.А., Сабанеева Е.В.</i> Идентификация и характеристика бактериальных эндосимбионтов эвригалинной инфузории <i>Paramecium nephridiatum</i>	85
<i>Lianguzova A., Arbuzova N., Lapshin N., Laskova E., Miroljubov A.</i> Rhizocephalan interaction with the host's nervous system: morphological adaptations and evolutionary trends	86
<i>Denisova S.</i> Ultrastructure of the sensory papillae in several digeneans from the White Sea.....	87
<i>Скобкина О.А., Кремнев Г.А., Крупенко Д.Ю.</i> Строение хвостовой капсулы цистофорных церкарий (Digenea: Hemiuroidea)	88
<i>Матач Д.А., Арбузова Н.А., Крупенко Д.Ю., Лянгузова А.Д., Миролюбов А.А., Полякова Н.В.</i> Метацеркарии <i>Diplostomum</i> sp. из центральной нервной системы <i>Lampetra fluviatilis</i> : морфологические особенности и взаимодействие с хозяином	89
<i>Раппопорт А.В., Слюсарев Ю.С.</i> Строение нервной и рецепторной системы самки <i>Intoshia linei</i> (Orthonectida).....	90
<i>Федорова З.А., Наумовец Л.А., Дюмина А.В., Унтилова А.А.</i> Распределение криптических видов <i>Echinorhynchus gadi sensu lato</i> (Acanthocephala) в Баренцевом, Печорском и Белом море	91
<i>Дюмина А.В.</i> Сравнительный анализ морфологии личиночных стадий <i>Polymorphus phippsi</i> и <i>Profilicollis botulus</i> (Acanthocephala: Polymorphidae)	92

ЭМБРИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

<i>Vetrova A., Kupraeva D., Lebedeva T., Tsikolia N., Kremnyov S.</i> Subsequent duplication of <i>Brachyury</i> gene in Hydrozoa	93
<i>Matveicheva E., Fofanova E., Voronezskaya E.</i> Normal development of <i>Dimorphilus gyrociliatus</i> in the context of sexual dimorphism	94
<i>Greenberg M., Kozin V.</i> Pattern of MAPK-cascade activation during early development of <i>Ophelia limacina</i> (Spiralia, Annelida)	95
<i>Бармасова Г.А., Старунова З.И., Новикова Е.Л., Старунов В.В.</i> Апоптоз в регенерации <i>Pygospio elegans</i> и <i>Platynereis dumerilii</i> (Annelida)	96
<i>Skorentseva K., Melnikov N., Bolshakov F., Saidova A., Lavrov A.</i> Microtubules in calcareous sponge cells: organization, post-translational modifications, regulators.....	97
<i>Пасхин Ф.Г., Ветрова А.А., Прудковский А.А., Кремнев С.В.</i> Экспрессия <i>FoxN4</i> ассоциирована с зонами нематогенеза в гонофорах двух типов беломорского гидроида <i>Sarsia loveni</i>	98

<i>Куракина Е.Н., Костюченко Р.П.</i> Гаметогенез у аннелид	99
<i>Kotenko A., Kostyuchenko R., Shcherban A.</i> Molecular and cellular basis of neurogenesis in annelids	100
<i>Шалаева А.Ю., Беляева М.О., Тарасов М.С., Козин В.В.</i> Экспериментальные исследования роли нервной системы при регенерации <i>Alitta virens</i>	101
<i>Полюшкевич Л.О., Кулакова М.А.</i> Анализ экспрессии генов сигнального пути Hedgehog у неридной полихеты <i>Platynereis dumerilii</i>	102
<i>Кайров А.И., Козин В.В.</i> Участие Wnt-сигналинга в контроле над клеточной пролиферацией и формированием постларвальных сегментов при переходе к анаморфному росту у полихеты <i>Alitta virens</i>	103
<i>Smyslov A., Matveicheva E., Neretina T., Ekimova I., Nikishin D., Semenova M.</i> White Sea littoral Oligochaeta as an object for studying Annelida development	104
<i>Vorotnikov A., Lazarev M., Nikishin D., Semenova M.</i> Morphological and gene expression changes in early development of sea urchin <i>Strongylocentrotus pallidus</i> caused by LiCl.....	105
<i>Гафарова Е.Р., Мальцева А.Л., Горохов И.А., Курячий Д.С., Байазыт К.-Дж.К., Гранович А.И.</i> Компоненты тканей улиток рода <i>Littorina</i> , регулирующие взаимодействие с ассоциированным микробиомом	106

ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

Кандалакшский заповедник. Заповедная наука в заповедной системе

Марченков А.В.

Кандалакшский государственный заповедник
e-mail: kand.nauka@yandex.ru

В начале XX-го века преобладали две точки зрения о принципах организации заповедников: утилитарно-хозяйственная и научная. Согласно первой, заповедники нужны для сохранения конкретного вида в интересах народного хозяйства. Согласно второй, заповедники «...могут и должны быть центрами научно-исследовательской работы» (Кожевников, 1928).

На примере Кандалакшского заповедника рассмотрим историю заповедной науки в заповедной системе.

Исходно заповедник был организован для сохранения гаги обыкновенной — естественного источника ценного природного утеплителя — гагачьего пуха. Практически вся работа, в том числе и научная, была долгие годы сосредоточена вокруг целевого вида. При этом заповедные территории рассматривались как научные полигоны для отработки методик содержания дикого вида с целью последующей передачи полученных в результате научных опытов и экспериментов практического опыта и рекомендаций по одомашниванию в народное хозяйство.

Примерно с конца 1950-х годов начинают проводиться работы по изучению биологии других видов водоплавающих и околоводных птиц. Появляется понимание необходимости исследований не только в области орнитологии, но и в области иных дисциплин, инициированные изучением биологии гаги.

В 1950-е годы проводятся паразитологические исследования для выяснения причин массовой гибели птенцов гаги. Начало гидробиологических исследований связано с выявлением объема пищевых запасов литоральных беспозвоночных. В 1962 году начинаются систематические ботанические работы. Производится картирование фитоценозов, определяются типы и закономерности формирования орнитогенной растительности на островах в местах массовых скоплений птиц.

В начале 1960-х годов происходит смена приоритетов научных исследований — с изучения только одного целевого вида на исследование практически всей биоты заповедника. В 1980–90-х годах научные исследования в заповеднике достигают пика своей интенсивности. По результатам исследований опубликовано девять сборников Трудов Кандалакшского заповедника. Развиваются совместные проекты с западными коллегами. Проводятся международные орнитологические совещания и конференции.

С 2000-х годов резко сокращается финансирование заповедников. Приводит это к постепенному спаду научной деятельности, уходу наиболее активной части научного коллектива в академические научные учреждения или на пенсию, остающиеся — достигают пенсионного возраста. Молодая смена на предлагаемые условия идти не готова. Отсутствует понимание научных перспектив и перспектив развития заповедника в целом.

Сейчас научная деятельность заповедника сводится практически к мониторингу отдельных видов птиц заповедных акваторий Кандалакшского залива и отдельным исследованиям в других областях биологии. Комплексных исследований экосистем на заповедных территориях, ввиду отсутствия и людей и материальных возможностей, не проводится. Остаются неоцифрованными и частично необработанными огромные объемы собранной ранее информации.

Kandalaksha State Reserve. Short history of nature conservation research

Marchenkov A.

Kandalaksha State Reserve
e-mail: kand.nauka@yandex.ru

The short overview on the history of science at the Kandalaksha reserve is given. In 1932 the reserve was organized for conservation and investigation of *Somateria mollissima*. The wide parasitological, hydrobiological and botanical studies were begun later. The most productive period in the scientific life of the reserve was 1980–90s.

Трудная жизнь на островах блаженных. Биостанции в эпоху перемен

Горяшко Н.А.

ФГБУ «Государственный заповедник «Пасвик», пгт. Никель

e-mail: alexandragor4@yandex.ru

Опубликованная год назад книга об истории российских биологических станций Белого и Баренцева морей (Горяшко, 2021) называется «Острова блаженных», и это красивое название может создать иллюзию, что жизнь на биостанциях была спокойной и безмятежной. В действительности все ровно наоборот. Возникновение и жизнь абсолютного большинства наших северных биостанций пришлось на XX век, и все потрясения этого века им пришлось испытать в полной мере. Социальные катастрофы этого времени — революции, войны и репрессии — самым непосредственным образом отразились на судьбах биостанций и их сотрудников. В докладе рассматривается, как сказались события XX века на жизни конкретных исследователей и биостанций.

Hard life on the Isles of the Blessed. Biostations in an era of change

Goryashko N.

Pasvik State Nature Reserve, Nikel

e-mail: alexandragor4@yandex.ru

A year ago, a book on the history of Russian biological stations in the White and Barents Seas was published (Goryashko, 2021). Its title is “Isles of the Blessed”. This beautiful name can create the illusion that life at the biological stations was calm and serene. In reality, it is exactly the opposite. The nascency and existence of the absolute majority of our northern biological stations took place in the 20th century. They experienced all the upheavals of this century in full. The social catastrophes of that time, revolutions, wars and repressions, had a very direct impact on the fate of biological stations and their employees. The presentation tells how the events of the 20th century affected the fate of biologists and biological stations.

Экологические метаморфозы отделяющихся от моря водоемов

Краснова Е.Д.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова
e-mail: e_d_krasnova@mail.ru

Одно из последствий послеледникового поднятия беломорских берегов — отделение от моря некоторых заливов, которым, в конечном счете, предстоит стать пресными озерами. Но прежде они проходят через стадию меромиктического водоема, который состоит из нескольких слоев, не перемешивающихся друг с другом из-за разницы в плотности. Непростой эволюционный путь сопровождается постепенным опреснением поверхностного слоя, накоплением в нем гуминовых веществ, которые окрашивают воду в коричневатый цвет, из-за чего уменьшается толщина фотического слоя и спектр проходящего света смещается в сторону больших длин волн. Это влияет на состав фитопланктона, а также определяет цвет воды в хемоклине — градиентной зоне между аэробной и анаэробной зоной с массовым развитием фототрофных организмов. Хемоклин — самая продуктивная зона за счет высокой эффективности фотосинтеза анаэробных фототрофных бактерий, которые в фотохимических реакциях используют сероводород. Это самый древний вариант фотосинтеза на нашей планете. Анаэробная зона — еще один биотоп, населенный древнейшими организмами: здесь воспроизводится бактериальное сообщество Архея и вращаются циклы окислительно-восстановительных реакций с участием серы, углерода, железа и других элементов. В числе необычных явлений, которые не встречаются ни в море, ни в пресных озерах, а только в стратифицированных водоемах — парниковый эффект. Поскольку слои воды не перемешиваются, толща воды ниже зоны конвекции изолирована от атмосферы, и там может накапливаться кислород, выработанный фитопланктоном, в концентрации, в несколько раз превышающей насыщение. Накапливается также и тепло, из-за чего возникает еще один необычный эффект — погруженный максимум температуры. Теплообмен между разными слоями ограничен крайне медленной тепловой диффузией. В придонной зоне каждого водоема есть зона с температурой, постоянной в течение всего года, причем в разных водоемах она разная. В одном из водоемов в 10 км от Беломорской биологической станции МГУ на глубине 4,5 м даже зимой +10 °С. Есть и другие необычные явления, например — серный дым под водой из коллоидной серы, которая образовалась в результате окисления сероводорода бактериями. Или выстилающее дно нетканое полотно из нитчатых серных бактерий с круглыми дырками от пузырей метана, поднимающихся из донного осадка. В аэробной части водоема тоже есть масса интересного. Недавно мы обнаружили новое для науки планктонное сообщество, связанное с хемоклином, в которое входят серные бактерии, миксотрофные водоросли, гетеротрофные динофлагелляты и личинки полихет, которые встречаются в течение всего года, несмотря на полярную ночь и лед. И это — далеко не все.

Ecological metamorphoses of water bodies separating from the sea

Krasnova E.

Lomonosov Moscow State University, Pertsov White Sea Biological Station
e-mail: e_d_krasnova@mail.ru

Due to post-glacial uplift of the White Sea shores some bays separate from the sea. On the way to the fresh lakes, they pass through meromictic stage composed of non-intermixing layers due to different density. An intricate evolutionary path is accompanied by many effects that are not found either in the sea or in fresh lakes.

Донные сообщества заливов архипелага Новая Земля (Карское море)

Удалов А.А.

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

Архипелаг Новая Земля начали интенсивно изучать в 20-х годах прошлого века. Подробные описания особенностей экосистем заливов, и, в частности, исследования фауны, были выполнены в ряде заливов о. Южный (Зенкевич, 1925), детально были описаны фаунистические комплексы в губе Черная (Гурьянова, Ушаков, 1928) и проливе Маточкин Шар (Ушаков, 1931). Затем доступ исследователей на Новую Землю прекратился и в исследованиях региона наступил длительный перерыв, а работы у Новой Земли были возобновлены только в 1990-х годах (Гальцова и др., 2004). Начиная с 2007 г. ИО РАН проводит работы по комплексному исследованию заливов восточного побережья Новой Земли. Всего исследовано восемь заливов.

Практически все заливы восточного побережья архипелага являются заливами фьордового типа. Разнообразие экосистем заливов обусловлено различиями по морфометрии, степени изоляции от открытой части моря, объему пресного и ледникового стока, типам береговой линии. Выделены ведущие факторы в формировании экосистем заливов, главными из которых являются характер и сила терригенного стока, глубина, положение на оси залива, тип грунта. Оценена степень изоляции донной фауны, показаны отличия сообществ внутренних частей заливов от сообществ открытого моря, рассмотрены специфические сообщества, населяющие кутовые части заливов. Разнообразие организмов макробентоса ниже во внутренних частях заливов. Сообщества литорали архипелага являются высокоарктическими, сильно обедненными либо эфемерными.

В настоящее время донные сообщества заливов подвержены сильным изменениям, что связано в первую очередь с вселением в экосистему краба-стригуна *Chionoecetes opilio*. Вселение краба-стригуна сказалось как на уменьшении количественных характеристик и разнообразия макрофауны, так и на изменении структуры сообществ и трофических отношений в бентосе, в частности на изменении соотношения макро- и мейобентоса.

Ну и наконец, заливы и прибрежная зона архипелага Новая Земля подвержены высоким рискам, обусловленным захоронением на этой акватории большого количества техногенных объектов — контейнеров с отработанным или не выгруженным ядерным топливом, судов и деталей судов различных типов, как подводных, так и надводных. Тем не менее, как по основным количественным характеристикам, так и по видовому составу и структуре, бентос окрестностей захоронений ТРО сходен с таковым интактных участков заливов.

Проект выполняется при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-27-00028).

Bottom communities of the Novaya Zemlya archipelago bays (the Kara Sea)

Udalov A.A.

Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow
e-mail: aludal@mail.ru

The variety of the ecosystems of the Novaya Zemlya archipelago bays are highly dependent on geomorphological features, degree of isolation from the open sea, the volume of terrestrial runoff, coastline type, etc. The differences between the communities of the inner parts of the bays and the communities of the open sea were shown, specific communities inhabiting the innermost parts of the bays were described. Modern changes in communities associated with the introduction of snow crab *Chionoecetes opilio* into the ecosystem were considered.

Палеолимнологические исследования для палеоокеанологических реконструкций (на примере Белого моря)

Субетто Д.А.

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург
e-mail: subettoda@herzen.spb.ru

В докладе будут представлены методы, подходы и результаты палеолимнологических исследований (изучение донных отложений озер с целью реконструкции этапов развития их экосистем, окружающих ландшафтов и климата в прошлом) изолированных бассейнов (приморские озера, котловины которых при более высоком уровне Белого моря заливались его водами) с целью реконструкции динамики уровня режима Белого моря со времени дегляциации его котловины. Активно исследования ведутся последние два десятка лет. В докладе будут показаны примеры палеолимнологических работ на островах Соловецкого архипелага, Онежского полуострова, Карельского берега Белого моря и Кольского полуострова. По теме доклада можно ознакомиться с публикациями (Субетто и др., 2012; Колька и др., 2018; Романенко и др., 2012; Varanskaya et al., 2018; Lunkka et al., 2012). В настоящее время ведется систематизация результатов всех палеолимнологических реконструкций и создание единой базы данных для построения цифровых палеогеографических карт развития Белого моря в позднем плейстоцене и голоцене.

Проект выполняется при поддержке Государственного задания Министерства просвещения РФ для РГПУ им. А.И. Герцена (FSZN-2020-0016) и проекта РНФ (22-17-00081).

Paleolimnological studies for paleoceanological reconstructions (examples from the White Sea)

Subetto D.

Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg
e-mail: subettoda@herzen.spb.ru

It will be presented new results of paleolimnological studies of isolated basins (seaside lakes flooded in the past with the waters of larger basins) in order to reconstruct the dynamics of the White Sea level in the past.

Программный комплекс JASMINE для изучения биогеохимических процессов в Белом море

Толстикова А.В.^{1}, Чернов И.А.²*

¹ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск

² Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск

* e-mail: alexeytolstikov@mail.com

Программный комплекс JASMINE основан на модели Северного Ледовитого океана FEMAО, которая описывает течения, температуру, соленость и морской лед и модели BFM (включая модуль экологии морского льда). Насколько нам известно, BFM с включенной подмоделью морского льда никогда не сочеталась с моделями циркуляции океана. Этот комплекс был приспособлен к особым условиям Белого моря и испытан на малодоступных данных (в основном спутниковых), используется параллельный расчет.

Число групп (и, следовательно, переменных в модели) может сокращаться за счет укрупнения, что дает выигрыш в производительности. Органические останки реминерализуются бактериями водной толщи, а также бентосным экосообществом, которое описывается простой моделью, учитывающей количество вещества на дне и скорость реминерализации, зависящую от температуры воды и количества вещества, а также разделение вещества на две фракции с разными периодами полуразложения. Скорость осаждения постоянна для компонент детрита (5 метров в сутки) и вычисляется для ряда других компонент в модели BFM. Поток неорганического вещества из морского льда учитывается в схеме вертикальной диффузии.

Модель BFM содержит подсистему морского льда BFMSI. Система морского льда описывается несколькими группами двумерных скалярных полей с потоками вещества между ними и включает в себя фито- и зоопланктон, бактерии, детрит, растворенное неорганическое вещество (в том числе углекислый газ и кислород) и органическое вещество.

В докладе будут представлены возможности вычислительного комплекса по воспроизведению характеристик льда Белого моря с учетом его экосистемы и будут обсуждаться возможности применения наработок для учета биологической активности льда Северного Ледовитого океана.

Проект выполняется при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-27-20014, проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

JASMINE software for studying biogeochemical processes in the White Sea

Tolstikov A.V.^{1}, Chernov I.A.²*

¹ Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk

² Institute of Applied Mathematical Research of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk

* e-mail: alexeytolstikov@mail.com

The JASMINE software package is based on the FEMAО Arctic Ocean model, which describes currents, temperature, salinity and sea ice, and BFM models (including the sea ice ecology module). The report will present the capabilities of the computer complex for reproducing the characteristics of the White Sea ice.

Голожаберные моллюски Белого моря: состав фауны и происхождение

Екимова И.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва
e-mail: irenekimova@gmail.com

Голожаберные моллюски (Gastropoda: Nudibranchia) — крайне разнообразная группа морских беспозвоночных животных, включающая более 4000 видов. Эволюция данной группы связана с редукцией раковины и появлением альтернативных, уникальных способов защиты, таких как отбор и использование стрекательных капсул книдарий или вторичных метаболитов губок и мшанок. Поскольку эти защитные механизмы напрямую связаны с питанием голожаберных моллюсков, для некоторых семейств показаны высокая специализация на различных объектах питания и реализация различных механизмов пищедобывания, что делает их удобным объектом для исследования механизмов адаптивной радиации. Голожаберные моллюски распространены всемирно, и, хотя наибольшее разнообразие приурочено к тропическим экосистемам, в boreальных и Арктических морях они также достаточно разнообразны. Данный доклад посвящен ревизии биологического разнообразия голожаберных моллюсков Белого моря, обзору их биологии, реконструкции филогенетических отношений отдельных групп, а также анализу возможных путей заселения Арктического региона.

Материалом для данной работы послужили многолетние сборы голожаберных моллюсков в окрестности Беломорской биологической станции МГУ, а также коллекции различных отечественных и зарубежных зоологических музеев и университетов. Методы исследования включали как классические морфологические методы (световая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия), так и большой спектр молекулярно-филогенетических подходов (построение молекулярно-филогенетических деревьев по четырём маркерам, методы молекулярного разделения видов, реконструкция предкового ареала, оценка времен дивергенции, построение сетей гаплотипов для широко распространенных видов).

Фауна голожаберных моллюсков Белого моря насчитывает 23 вида. Из них семь видов имеют широкое амфибореальное распространение, 12 характеризуются атлантико-арктическим распространением и имеют сестринские виды в Тихом океане, два вида приурочены в основном к арктическим водам и один является эндемиком Белого моря. Подавляющее число видов беломорских голожаберных моллюсков (22 вида) имеют тихоокеанское происхождение и заселили этот регион в течение плиоцена-плейстоцена при открытии Берингова пролива. Заселение арктического региона тихоокеанскими вселенцами происходило параллельно и независимо в различных семействах голожаберных моллюсков, и более выражена у представителей подотряда Cladobranchia, что вероятно связано с экологическими характеристиками данных видов и комплексной историей формирования современных арктических сообществ. Высокая доля видов с тихоокеанским происхождением отличает фауну голожаберных моллюсков Белого моря от сопредельного Баренцева моря, в котором из-за сильного влияния Норд-Капского течения 17 из 43 видов голожаберных моллюсков имеют атлантическое происхождение. Тем не менее, данные атлантические виды не распространены дальше побережья Мурмана.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ 20-74-00012.

Nudibranch molluscs of the White Sea: fauna composition and origin

Ekimova I.

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

The present work is devoted to the integrative revision of nudibranch molluscs in the White Sea, in the light of their biology, phylogenetic relationships and faunal connectivity across different regions. Our study includes a wide spectrum of morphological and molecular data, as well as ecological observations.

Специфические метаболиты морских макрофитных водорослей: разнообразие, функции, прикладное значение

Тараховская Е.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

e-mail: elena.tarakhovskaya@gmail.com

В процессе жизнедеятельности морские макрофитные водоросли (представители таксономических групп Rhodophyta, Chlorophyta и Phaeophyceae) синтезируют и накапливают в клетках значительные количества специфических вторичных метаболитов. Это разнообразные низкомолекулярные и полимерные фенольные соединения, непротеиногенные аминокислоты, терпены, серосодержащие и галогенорганические соединения и др. Многие из подобных метаболитов задействованы в обеспечении химической защиты талломов водорослей от паразитов, фитофагов и обрастателей (напр., флоротаннины, кайноиды). Некоторые вторичные соединения являются мощными фотопротекторами и антиоксидантами (микоспорин-подобные аминокислоты, низкомолекулярные фенолы). Помимо защитных функций специфические метаболиты водорослей могут использоваться клетками в качестве запаса азота (гигартинин, цитруллин-аргинин), дополнительных фотосинтетических пигментов (флоридорубин, микоспорин-подобные аминокислоты), осмолитов (диметилсульфопропионат, цистеинолевая кислота) и феромонов. Большая часть этих веществ проявляет значительную биологическую активность, и в настоящее время в мире реализуются многочисленные проекты по исследованию вторичных метаболитов водорослей в прикладном плане: в качестве перспективных природных антибиотиков, антиоксидантов, противоопухолевых препаратов, влагоудерживающих агентов и биологически активных пищевых добавок.

Для красных водорослей особенно характерно накопление бромфенолов и сесквитерпенов, обладающих сильным антибиотическим действием. Эти вещества синтезируются в клетках многих представителей сем. Rhodomelaceae (р. *Laurencia*, *Rhodomela*, *Vertebrata*). Гигартиновые красные водоросли накапливают уникальные непротеиногенные аминокислоты с высоким содержанием азота. Некоторые церамиевые водоросли синтезируют сильнейшие нейротоксины, кайноиды, а также серосодержащие соединения, являющиеся основным биогенным источником диметилсульфида в атмосфере Земли.

Бурые водоросли известны, прежде всего, своими уникальными фенольными метаболитами, флоротаннинами. Содержание этих веществ в талломах некоторых видов (в частности, у представителей пор. Fucales) достигает 35% сухой массы, что превышает содержание белка в клетках многих растений. Флоротаннины выполняют в клетках бурых водорослей множество физиологических функций, среди которых структурные, защитные, антиоксидантные, ранозаживляющие и морфогенетические.

Зеленые водоросли синтезируют и накапливают разнообразные специфические алкалоиды (каулерпин, рацемозин и др.) и терпены. С этой точки зрения особенно известны представители родов *Ulva* и *Caulerpa*, метаболиты которых проявляют значительную противоопухолевую и противовирусную активность.

В настоящее время детально исследована лишь малая часть вторичных метаболитов макроводорослей, и список этих интереснейших соединений постоянно пополняется, что может в перспективе привести к серьезным прорывам в области медицины и пищевой промышленности.

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

Specific metabolites of marine macroalgae: diversity, functions, practical application

Tarakhovskaya E.

Saint Petersburg University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

Vavilov Institute of General Genetics of RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

e-mail: elena.tarakhovskaya@gmail.com

Marine red, brown and green macroalgae synthesize and accumulate a plethora of unique secondary metabolites possessing different biological activities, such as antibiotic, antioxidant, anticancer etc. Red algae synthesize various bromophenols, sesquiterpenes and kainoids. Brown seaweeds accumulate huge amounts of specific phenolics, phlorotannins. Green algae are rich sources of valuable alkaloids.

Cannibalism in threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in the White Sea: consequences for the population

Ivanov M.^{1}, Podlevskikh A.¹, Ivanova T.¹, Genelt-Yanovskaya A.¹, Kondakova E.², Lajus D.¹*

¹ Saint Petersburg University, Ichthyology and Hydrobiology Department, Saint Petersburg

² Saint Petersburg University, Embryology Department, Saint Petersburg

* e-mail: ivmisha@gmail.com

This study aims to quantitatively describe patterns of egg cannibalism in the White Sea stickleback. For that, we determined spawner and nest densities in different spawning grounds. In the nests, we determined egg number, embryo developmental stages and their age, proportion of damaged and unfertilized eggs, age and time difference between the first and last clutch. By analyzing the stickleback stomachs, we determined fish proportion with eggs, egg proportion in stomach content, egg number, proportion of damaged and unfertilized eggs, embryo ratio on different developmental stages.

Nest density ranged from 0.4 per m² in muddy sandbanks up to 3 in dense seagrass beds. The male density is about ten-fold higher than nest density meaning that at any given time, most of sticklebacks do not participate in spawning. As the spawning progresses, we observe decrease of egg average number in nest, and increase of (i) embryo average age and damaged egg proportion in nests, (ii) fish proportion with eggs in their stomachs, (iii) egg proportion in stomach content. Also, during spawning, egg absolute number in female stomachs and their average age increases (from 1 to 2.5 days), and proportion of damaged eggs in female stomachs and proportion of unfertilized eggs in both sexes decreases.

Embryos, mostly young ones, are partially eaten by males, guarding the nests.

On spawning grounds with high fish density, stickleback consume 350–450 eggs (or 1.2–1.5 nests) from one m² per day, i.e. from one third to one half of all nests, mostly with younger embryos. They are eaten by males not participating in spawning, and females.

We distinguish two types of egg cannibalism. The first is performed by males guarding the nest in order to remove unfertilized or damaged eggs, and to maintain energy balance. Egg number is sufficient to meet both these goals. The second is done by males which do not guard the nests and by females. Overall, about four fifths of all laid eggs are eaten by spawning stickleback. Cannibalism allows (i) to maintain high “spawning pressure”, resulting in occupying all available spawning biotopes, (ii) to keep most of the population energy within it, (iii) to support very high competition among males resulting in improving their ability to protect progeny.

This project is supported by the Russian Science Foundation (grant 22-24-00956). The authors thank the administration of the UNB SPSU “Belomorskaya” for the possibility of year-round work on the White Sea.

Щетинкочелюстные Баренцева моря: видовой состав, распределение и трофическая экология по данным анализа стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$)

Артемов Г.М.^{1*}, Захаров Д.В.³, Баталин Г.А.², Гареев Б.И.², Мингазов Г.З.², Сабиров Р.М.¹,
Голиков А.В.⁴

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра зоологии и общей биологии, Казань

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, лаборатория изотопного и элементного анализа, Казань

³ Зоологический институт РАН, лаборатория морских исследований, Санкт-Петербург

⁴ Центр исследований океана Гельмгольца, Киль, Германия

* e-mail: glebaartemjew@yandex.ru

Щетинкочелюстные (Chaetognatha) играют важную роль в планктонных сообществах полярных морей благодаря высокой численности и биомассе (Кособокова, 2010). В водах Баренцева моря сосуществуют несколько видов хетогнат, однако остается не ясным, как происходит разделение экологических ниш между ними. Целью данной работы было определение видового состава щетинкочелюстных, а также выяснение того, как симпатрические виды этих животных разделяют пространство и ресурсы в условиях арктической пелагиали.

Материалом для настоящей работы послужили сборы, проводимые ПИНРО в ходе четырех рейсов в акватории Баренцева моря на НИС М-0102 «Вильнюс» и М-0662 «Фритъоф Нансен» в ноябре и декабре 2013–2014 гг. Зоопланктон облавливался притральной сетью (диаметр входного отверстия 50 см, газ № 140) вблизи дна и обработан по единой методике, принятой в ПИНРО (Шевелев, 2001). В общей сложности материал представлен пробами со 162 станций, для каждой точки сбора замерялись основные гидрологические параметры, а фиксация зоопланктона осуществлялась с использованием 4% забуференного формалина.

В Баренцевом море и прилегающих к нему водах удалось обнаружить четыре вида хетогнат: *Parasagitta elegans*, *Eukrohnia hamata*, *Pseudosagitta maxima* и *Heterokrohnia mirabilis/involutum*. Два из них (*P. elegans* и *E. hamata*) широко распространены на всей исследуемой акватории, в то время как два других (*P. maxima* и *H. mirabilis/involutum*) встречаются лишь в самых глубоководных районах. Отсутствие выраженной термогалинной стратификации водного столба объясняет их обитание в широком диапазоне глубин, охватывающем эпи- и мезопелагиаль. В целом, распределение обнаруженных видов хетогнат хорошо согласуется с их экологическими характеристиками и отражает предпочтения в условиях обитания.

Для определения трофического статуса трех видов щетинкочелюстных мы использовали анализ природных соотношений стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$). За основу пищевой цепи были приняты копеподы-фильтраторы *Calanus glacialis* и *C. finmarchicus*, которые предположительно соответствуют второму трофическому уровню (Søreide et al., 2008). По результатам изотопного анализа, исследуемые виды хетогнат занимают разное положение в пищевых цепях: самый высокий трофический уровень наблюдается у *P. elegans* (ТУ [среднее значение \pm ошибка среднего] = $2,7 \pm 0,0$, N = 175), промежуточное положение занимает *P. maxima* (ТУ = $2,4 \pm 0,1$, N = 33), а самым низким трофическим уровнем обладает *E. hamata* (ТУ = $2,1 \pm 0,0$, N = 175). Полученные нами данные свидетельствуют об использовании хетогнатами различных пищевых ресурсов, что, вероятно, снижает межвидовую конкуренцию и позволяет им сосуществовать в водах Баренцева моря.

Chaetognaths of the Barents Sea: species composition, distribution and trophic ecology revealed by nitrogen stable isotope analysis ($\delta^{15}\text{N}$)

Artemev G.^{1*}, Zakharov D.³, Batalin G.², Gareev B.², Mingazov G.², Sabirov R.¹, Golikov A.⁴

¹ Kazan Federal University, Department of Zoology and General Biology, Kazan

² Kazan Federal University, Laboratory of Isotopic and Elemental Analysis, Kazan

³ Zoological Institute of RAS, Laboratory of Marine Research, Saint Petersburg

⁴ Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany

* e-mail: glebaartemjew@yandex.ru

Four species of chaetognaths have been found in the Barents Sea and adjacent areas: *Parasagitta elegans*, *Eukrohnia hamata*, *Pseudosagitta maxima* and *Heterokrohnia mirabilis/involutum*. Each species showed a characteristic pattern of distribution in the study area. Analysis of stable nitrogen isotopes ($\delta^{15}\text{N}$) revealed different food sources being used by the three most common species.

К изучению мирмекофауны арктических регионов России: Мурманская область

Шевченко Д.М.

Южный Федеральный Университет, кафедра зоологии, Ростов-на-Дону
e-mail: cheff7627d@gmail.com

Мирмекофауна арктических регионов представлена небольшим количеством видов и зачастую не привлекает особого внимания исследователей. Так, по последним данным (Paukkunen, Kozlov, 2015), на севере Мурманской области обитает два вида муравьев — *Leptothorax acervorum* (Fabricius, 1793) и *Formica gagatoides* Ruzsky, 1904.

Бореальный транспалеарктический вид *F. gagatoides*, обычный в южных районах Мурманской области, был зарегистрирован в процессе оригинального обследования п-ова Средний, проведенного в августе 2022 года (69°38'34.3183"N, 31°54'21.4332"E; 69°38'14.5255"N, 31°52'38.0376"E; 69°38'18.0247"N, 31°52'6.3792"E). Голарктический *L. acervorum* обычен для данного региона и отмечался как на обследованной территории (п-ов Средний, Печенгский р-н., Мурманская обл.), так и в других районах Мурманской области (Paukkunen & Kozlov 2015).

В отличие от *L. acervorum*, населяющего разнообразные биотопы (от скальных выходов на высоте до 80 м н.у.м. до участков со сформированным почвенным покровом в прибрежной зоне на разных участках полуострова), *F. gagatoides* встречался значительно реже. Удалось обнаружить три локальных места обитания этого вида: в моховой подстилке, под металлическими плитами и под камнями в заброшенном доте. Все названные точки располагались на южных склонах хребта Мустатунтури, удаленных от береговой полосы на 2–3 км, на высоте 30–60 м н.у.м. *L. acervorum* населял более широкий спектр местообитаний. Он регулярно регистрировался в защищенных от ветра лощинах и трещинах, где формировался почвенный покров и накапливались перегнивающие остатки растений. Также скопления этого вида располагались в подстилке и среди заброшенных фортификационных сооружений (69°38'13.9027"N, 31°49'51.4044"E; 69°38'19.0219"N, 31°51'0.5748"E; 69°38'14.5255"N, 31°52'38.0376"E). Свои гнезда муравьи устраивали на глубине 0,5–1 м, в стенах траншей, в трещинах и узких расщелинах, заполненных рыхлым субстратом (гранитная крошка, растительные остатки). В одном месте (69°38'14.5255"N, 31°52'38.0376"E), под дверью дота, лежащей на южном склоне хребта Мустатунтури, удалось обнаружить выходы гнезд обоих видов муравьев. Вероятно, они предпочитают подобные места из-за того, что металл хорошо прогревается в летнее время, а также защищает муравьев от дождя. Во всех случаях муравьи поселялись на относительно «теплых» склонах южной экспозиции, защищенных от ветра. Их гнезда располагались на незначительном удалении от небольших западин и понижений, на пологих склонах, где развивались лишайники, травянистые и древесные растения (*Cetraria cucullata* (Bellardi) Ach., *C. islandica* (L.) Ach., *Diapensia lapponica* L., *Eriophorum angustifolium* Honck., *Betula nana* L. и др.), образующие достаточно мощную подстилку, в которой могли селиться объекты питания муравьев — мелкие насекомые.

Существование муравьев на п-ове Средний в настоящее время, очевидно, обусловлено особым микроклиматом, формирующимся под влиянием Нордкапского течения, которое прогревает незамерзающие прибрежные воды. Тем не менее, из-за сурового климата указанной территории насекомые предпочитают селиться на южных склонах экспозиций ввиду лучшего прогрева камер гнезд и соляриев для расплода.

To the study of the myrmecofauna of the Arctic regions of Russia: Murmansk region

Shevchenko D.

Southern Federal University, department of zoology, Rostov-on-Don
e-mail: cheff7627d@gmail.com

According to the latest data, two species of ants live in the northern part of the Murmansk region: *Leptothorax acervorum* and *Formica gagatoides*. Second one, found in the northern part of the Murmansk region, was recorded during a study of the antfauna of the Sredny Peninsula, conducted in August 2022.

Факторы, определяющие заболеваемость мидий *Mytilus trossulus* трансмиссивной неоплазией в окрестностях г. Магадан (Охотское море)

Долганова И.А.^{1}, Хайтов В.М.¹, Сказина М.А.¹, Марченко Ю.Т.¹, Регель К.В.², Стрелков П.П.¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, Санкт-Петербург

² Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, Магадан

* e-mail: iradolganova@mail.ru

Трансмиссивная неоплазия двустворчатых моллюсков (VTN) — инфекционное онкологическое заболевание, которое передается от одного организма к другому путем физического переноса раковых клеток. Феноменологически, VTN — это диссеминированная неоплазия (DN), лейкомия-подобное заболевание, поражающее гемолимфу. Наши знания о VTN ограничены, что связано с недавним открытием этой болезни (Metzger et al. 2015). Ситуация усугубляется дефицитом данных по заболеваемости DN в морях России. В 2021 году DN и VTN впервые найдены у *Mytilus trossulus* в Охотском море (Skazina et al., 2022). Цель нашего исследования: изучить микрогеографические паттерны в распространении DN и VTN у мидий Тауйской губы Охотского моря и выявить связь между заболеваемостью и популяционными и средовыми характеристиками их поселений.

DN и VTN диагностировали методами проточной цитометрии и митохондриального генотипирования, соответственно. Всего изучено 700 мидий из 11 популяций в пределах акватории г. Магадан и его ближайших окрестностей. Для каждой точки сборов определяли соленость воды (ppt), плотность поселения мидий (экз/м²), расстояние от города по береговой линии (km), а также уровень ветрового волнения моря, оцененный через параметр Fetch. Степень антропогенного воздействия напрямую не изучалась, только косвенно, через расстояние от города. Зависимость между заболеваемостью мидий и популяционными и средовыми характеристиками их поселений изучали с помощью регрессионного анализа.

DN была обнаружена у 2,3% изученных мидий. У всех мидий с DN был подтвержден VTN. Обнаружены обе линии VTN, известные у мидий (Yonemitsu et al., 2019): *MtrVTN1* и *MtrVTN2*. Заболеваемость мидий в разных точках варьировала от 0 до 10%. Анализ связи заболеваемости с популяционными и средовыми факторами дал один статистически значимый результат: заболеваемость возрастает с уровнем ветрового волнения моря (Fetch). Иными словами, максимальная заболеваемость VTN наблюдается у мидий с самых прибойных побережий. Вероятно, интенсивная гидродинамика способствует передаче инфекции. Отсутствие связи между заболеваемостью и расстоянием от города косвенно указывает на то, что антропогенное загрязнение не является важным фактором, влияющим на экстенсивность инвазии.

Factors determining the morbidity of mussels *Mytilus trossulus* transmissible neoplasia in the vicinity of Magadan (Sea of Okhotsk)

Dolganova I.^{1}, Khaitov V.¹, Skazina M.¹, Marchenko Y.¹, Regel K.², Strelkov P.¹*

¹ Saint Petersburg University, Biological Faculty, Saint Peterburg

² Institute of Biological Problems of the North (IBPN), Far East Branch of RAS, Magadan

* e-mail: iradolganova@mail.ru

The prevalence of bivalve transmissible neoplasia was studied in populations of *Mytilus trossulus* in the vicinities of Magadan (the Sea of Okhotsk). The prevalence ranged from 0 to 10%. A positive correlation between prevalence and wave exposure and no correlation between prevalence and distance from the city were noted.

Структура таксоцены нематод на градиенте концентрации кислорода в бухте Биофильтров

Загайнов А.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва
Институт Океанологии им П.П. Ширшова РАН, Москва
e-mail: leshazagainov@yandex.ru

Бухта Биофильтров в окрестности Беломорской биологической станции МГУ (Белое море, Кандалакшский залив) характеризуется хемоклином, который разделяет водную массу на верхнюю аэробную, и нижнюю анаэробную с большой концентрацией сероводорода (Краснова 2021). Это делает бухту удобным объектом для изучения мейобентосных сообществ вдоль градиента концентрации кислорода.

В ходе работ, водолазным методом были отобраны по две пробы с шести станций, еще на трех станциях пробы отбирались дночерпателем. Водолазные станции были расположены на глубинах от 4,6 до 8 м, дночерпательные — от 15 до 16 м: под хемоклином. На всех станциях доминирующим мейобентосным макротаксоном были нематоды; их плотность варьировала от 112 экз/10 см² на глубине 5,7 м до 1120 экз/10см² на глубине 6 м. Зависимости плотности нематод от глубины не выявлено. Вторыми по плотности таксонами на разных станциях являлись: гарпактициды, остракоды, молодь Spionidae. На анаэробных станциях, живых многоклеточных животных не обнаружено.

Таксономическое разнообразие снижалось от самой мелководной (4,6 м) и насыщенной кислородом (11 мг/л) станции, где составило 24 рода, до нуля на анаэробных. На глубинах от 5 до 6 м разнообразие составляло 4–6 родов на станцию. Однако, на глубине, соответствующей хемоклину (8 м, конц. O₂ = 1 мг/л) наблюдается довольно нетипичное повышение родового разнообразия до восьми родов.

На градиенте глубин прослеживается смена сообществ. Самое разнообразное сообщество находится на глубине 4,6 м, где основным доминантом была *Sabatieria pulchra* (доля в сообществе равна 31%), а субдоминантами *Laimella filipjevi*, *Monoposthia costata*, *Paracanthochus* sp. и пока неопределенные Chromadoridae. На глубине 5 м оказалось наименее разнообразное сообщество с ярко выраженным доминированием *S. pulchra*, с долей в сообществе равной 84%. Глубже, на глубине 5,7 м *S. pulchra* остается доминантом, но ее доля в сообществе падает до 64%. На глубине 5,9 м. доминант меняется на *M. costata*, *S. pulchra* становится субдоминантом. Это сообщество обладает малым разнообразием, с долей двух доминантов более 88%. На глубине 8 м доминантом вновь становится *S. pulchra*, с довольно низкой долей в сообществе, равной 67%. Подобная картина не характерна для сообщества с дефицитом кислорода. Также в ходе работы была найдена *Cryonema* sp. — ледовая нематода, с неясным способом переживания летнего периода.

Dominance structure in nematode taxocen on the gradient of oxygen concentration in the Bay of Biofilters, White Sea

Zagainov A.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow
Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow
e-mail: leshazagainov@yandex.ru

The Biofilters Bay — is hydrological object, where hydrological regime with stratified water masses into upper, aerobic, and lower, anaerobic, divided by chemocline, were formed. These conditions are well suited for researching reaction of nematodes communities to the change of oxygen concentration.

Изменения донных сообществ центральной части Карского моря в результате вселения краба-стригуна *Chionoecetes opilio*

Руднева Е.В.^{1}, Удалов А.А.², Залота А.К.², Чикина М.В.²*

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

* e-mail: bettysiu2015@gmail.com

Карское море представляет собой относительно стабильную во времени экосистему, которая до определенного времени не подвергалась вселению чужеродных видов и активному промыслу (Козловский и др., 2011). Исследования донной фауны моря, проведенные в 2007–2013 гг. в экспедициях ИО РАН (Карское море. Экологический атлас, 2016) показали совпадение границ существующих донных сообществ со схемой, составленной Л.А. Зенкевичем в середине XX века (Филатова, Зенкевич, 1957). Однако в начале XXI века отмечена широкомасштабная инвазия на арктическом шельфе — вселение ранее отсутствовавшего в Европейской Арктике краба-стригуна (*Chionoecetes opilio*) (Zalota et al, 2018). Вероятнее всего молодь краба была принесена с судовыми балластными водами (Соколов, 2014). Целью данного исследования была оценка влияния этого чужеродного хищника на донные сообщества центральной части Карского моря.

Работы были выполнены на основе материалов траловых сборов 2014 и 2019 гг. (до и после вселения краба) полученных в ходе 128 рейса НИС «Профессор Штокман» (2014 г.) и 76 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2019 г.). Для сбора донной мега- и макрофауны использовали трал Сигсби со стальной рамой шириной 1,5 м. Обработка полученного материала включала в себя определение беспозвоночных по возможности до видового ранга, подсчет и взвешивание организмов. Поскольку использование данных по численности приводит к преувеличению роли мелких организмов, а данных по биомассе — к преувеличению роли крупных организмов, в качестве меры обилия использовали относительную интенсивность метаболизма (RR — respiration rate) (Azovsky et al., 2000). Для анализа использовали процентные величины, так как объем тралов различался от станции к станции.

Результаты проведенного исследования выявили изменения в структуре донных сообществ. На станциях, где в 2014 г. были найдены сообщества с доминированием офиур, в 2019 г. руководящим видом оказался краб *Chionoecetes opilio*. Офиуры, составляющие ранее до 90% биомассы и численности донных сообществ, практически исчезли. При этом как общее обилие, так и разнообразие бентоса существенно уменьшилось. Появление в экосистеме Карского моря краба-стригуна оказало существенное влияние на донную фауну, поскольку объектами его питания являются наиболее массовые и доступные формы бентоса (Burukovsky et al., 2021).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-27-00028.

Changes in the benthic communities of the Kara Sea central part as a result of the snow crab

***Chionoecetes opilio* invasion**

Rudneva E.^{1}, Udalov A.², Zalota A.², Chikina M.²*

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

* e-mail: bettysiu2015@gmail.com

The aim of our study was to assess the impact of an alien predator, the snow crab (*Chionoecetes opilio*), on the bottom communities of the Kara Sea. Analysis of the obtained data revealed changes in the structure of benthic communities, accompanied by a decrease in both quantitative characteristics and species diversity.

Аллометрия метаболизма и количество митохондрий в жабрах моллюска *Mytilus edulis* L.

Герасимова М.А.^{1*}, Алексеева Н.В.², Ковалев А.А.², Сухотин А.А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш»

* e-mail: gerundinell@gmail.com

Скорость метаболизма живых организмов тесно связана с массой тела особей. Этот широко известный феномен метаболической аллометрии называется еще законом Клайбера, согласно которому энергетические траты на обмен пропорциональны массе тела в степени $\frac{3}{4}$. Механизмы формирования и поддержания метаболической аллометрии до сих пор неясны. Очевидно, скорость метаболизма на уровне организма отражает энергетический обмен тканей, клеток и связана с функционированием субклеточных структур — митохондрий. Справедливо предположить, что метаболическая аллометрия также распространяется на разные уровни биологической организации и может быть связана с работой митохондрий и/или их количеством и структурой в клетках.

Для понимания формирования метаболической аллометрии мы изучали зависимость обмена от размеров тела на суборганизменных уровнях. Объектом исследования были беломорские двустворчатые моллюски *Mytilus edulis*. Измерение скорости дыхания мидий разного размера и их жабр производили методом замкнутых сосудов. После экспериментов мидии и жаберные ткани взвешивали. Для количественной оценки митохондрий в жаберной ткани пробы были взяты строго в одном месте ктенидиев. Образцы фиксировали и заключали в смолу для изготовления срезов для трансмиссионной электронной микроскопии. На полученных фотографиях ($\times 22000$) определяли митохондрии и внеклеточные структуры. Количество митохондрий, их площадь и периметр на срезах, а также площадь цитоплазмы оценивали в программе ImageJ.

На уровне организма удельная скорость (интенсивность) дыхания снижалась с увеличением массы тела моллюсков, согласно закону Клайбера. Скорость дыхания жаберной ткани, напротив, не зависела от размеров мидий, то есть, аллометрия метаболизма на тканевом уровне исчезла. Было выявлено, что количество митохондрий и доля их общей площади на срезе также не зависят от размера тела моллюска. Однако размеры (средние площадь и периметр) самих митохондрий в жаберной ткани возрастали с увеличением массы тела мидий.

Таким образом, метаболическая аллометрия, наблюдаемая на уровне целого организма, отсутствовала в отдельной ткани. Вероятно, это отражает и тот факт, что общее число митохондрий и их суммарная площадь и периметр на срезах не различались в жабрах мелких и крупных моллюсков. При этом, известно (Sukhotin et al., 2020), что скорость дыхания суспензии митохондрий положительно коррелирует с массой тела. Можно предположить, что с ростом животного меняются морфологические особенности митохондрий, включая их размеры, что показано в настоящей работе, а также количество и форма крист и другие. Проверка этой гипотезы — предмет нашего дальнейшего исследования.

Проект выполняется при поддержке гос. задания ЗИН РАН № 122031100283-9 и гранта РНФ (рук. А.А. Сухотин).

Metabolic allometry and number of mitochondria in the gills of the mollusk *Mytilus edulis* L.

Gerasimova M.^{1*}, Alexeeva N.², Kovalev A.², Sukhotin A.²

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”

* e-mail: gerundinell@gmail.com

To study metabolic allometry in *Mytilus edulis* at different levels of biological organization we analyzed respiration rate of mussels and their gills, and mitochondrial characteristics in gill tissue. The obtained data showed a pronounced allometry at an organismal but not tissue level, and increase of mitochondrial size with body mass.

Сообщества раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) особо охраняемых природных территорий

Карелии

Valdaeva E.V.^{1*}, Lyabzina S.H.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Петрозаводский государственный университет, кафедра зоологии и экологии, Петрозаводск

* e-mail: elenvaldv@gmail.com

Раковинные амёбы (Rhizopoda, Testacea) — микроорганизмы, населяющие разные типы почв. Чаще всего они встречаются в болотных почвах, сфагновых мхах и в пресной воде. В биоценозах тестацей участвуют в процессах почвообразования, действуя как гумусообразователь. Велика их роль и в накоплении минеральных веществ в верхних горизонтах почвы, а также в рециркуляции органики путем разложения лигнина и целлюлозы (Гельцер и др., 1985). Исследования, посвященные составу сообществ раковинных амёб в биоценозах Карелии, малочисленны. Имеются лишь сведения по видовому составу раковинных амёб в осоково-сфагновом лесу Лоухского района (выявлено 24 вида) (Мазей, Кабанов, 2008).

Исследование проводилось в течение трех лет (2019–2021 гг.) в 11 биогеоценозах трех особо охраняемых природных территорий (ООПТ): национальный парк «Паанаярви», заповедник «Кивач» и Ботанический сад ПетрГУ. Для выявления общего разнообразия раковинных амёб в биотопах подбирались места отбора почв на расстоянии 60–80 см от корневой шейки дерева. Почвенные пробы отбирали из гумусового горизонта подзолов на глубине 10–20 см. Подстилку (свежеопавшая хвоя и разлагающиеся животные остатки) предварительно снимали.

В почвах исследуемых ООПТ обнаружено 60 видов и внутривидовых разновидностей раковинных амёб, принадлежащих к 25 родам. В биогеоценозах заповедника «Кивач» выявлено 40 видов тестацей, принадлежащих к 17 родам. К наиболее часто встречающимся относятся виды родов *Centropyxis*, *Cyclopyxis* и *Trinema*. Их численность во всех биотопах достигает более 40% в пробах. В биотопах Ботанического сада ПетрГУ выявлено девять видов раковинных амёб. Наибольшее количество раковинок отмечено для видов *Cyclopyxis eurystoma* (Deflandre, 1929) и *Trinema lineare* (Penard, 1890).

Самым богатым биогеоценозом по количественному и качественному составу тестацей в НП «Паанаярви» является сосняк зеленомошный, а наименьше всего видов и особей раковинных амёб в целом обнаружено в почвах горной тундры. Горная местность НП «Паанаярви» и биотопов Ботанического сада ПетрГУ отличается небольшим плодородным слоем почвы и, как следствие, наименьшим разнообразием простейших. Во всех исследованных сосняках отмечено высокое разнообразие раковинных амёб, что, вероятно, может быть связано с механическим составом почв исследуемой местности. Благодаря хорошей аэрации в песчаных подзолах сосняков интенсивнее происходит минерализация органических соединений, что создает благоприятные условия для жизнедеятельности видов тестацей с минеральной раковинкой.

Communities of testate amoebae (Rhizopoda, Testacea) in specially protected natural areas

of Karelia

Valdaeva E.^{1*}, Lyabzina S.²

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Petrozavodsk State University, Department of Zoology and Ecology, Petrozavodsk

* e-mail: elenvaldv@gmail.com

60 species of testate amoebae (Rhizopoda, Testacea) were found in specially protected natural areas of Karelia in three districts: Loukhsky (Paanajärvi National Park), Kondopozhsky (Kivach Nature Reserve) and Prionezhsky (Botanical Garden of PetrSU). The greatest diversity of testacea was noted in the soils of the Paanajärvi National Park (45 species).

Реликтовое озеро Могильное (о. Кильдин, Баренцево море): более 100 лет исследований

Громова А.Д.*, Стогов И.А., Мовчан Е.А.

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

* e-mail: cyan.hcn@gmail.com

Озеро Могильное — это реликтовый меромиктический водоем, расположенный на о. Кильдин и отделенный от Баренцева моря галечной пересыпью. Около 100 лет назад было отмечено, что с 1909 по 1921 г. слой «розовой» воды поднялся с 13 до 12 м (Дерюгин, 1925). Работы экспедиции ММБИ в 1966–1974 гг. показали, что хемоклин отмечался на глубинах 9–10 м, слой пресной воды уменьшился, а вода в нем заметно осолонилась. В 2018–2019 годах, по нашим данным, слой «розовой» воды отмечался уже на глубинах 8–8,5 м.

За последнее 50 лет произошло существенное осолонение миксолимниона с 2–3 до 5–8 г/л и снижение его мощности с 0–4 до 0–2 м. Растворенный в воде кислород в 2018–2019 гг. отсутствовал на глубинах ниже 8 м, а уровень нулевого редокс-потенциала поднялся с глубин 9–10 м до 7–8 м.

Современный зоопланктон озера Могильное можно охарактеризовать как крайне бедный таксономически (8–12 таксонов), ротаторно-клагоцерный в миксолимнионе и копепоодно-нектохетный в среднем слое воды, ниже хемоклина на глубинах ниже 8 м планктонные беспозвоночные отсутствуют. Это связывают с осолонением пресноводного слоя и уменьшением его толщины (и, соответственно, исчезновением практически всех представителей пресноводной фауны), а также поднятием сероводородного слоя. При этом существенных изменений структуры зоопланктона за последние 100 лет не произошло, в настоящее время присутствие в планктоне пресноводных форм непостоянно, связано с поверхностным стоком пресной воды с водосбора и носит сезонный характер.

Численность и биомасса зоопланктона в среднем слое 3–7 м гораздо выше, чем в миксолимнионе. Так, в 2018–2019 гг. общая численность зоопланктона здесь составила 110–160 тыс. экз./м³, тогда как в поверхностном слое воды от 0 до 2 м не превышала 2–16 тыс. экз./м³. Большую часть года в планктоне преобладают копеподы *Pseudocalanus acuspes*, их количество достигает 80 тыс. экз./м³. Летом, в период размножения донных беспозвоночных, в планктоне доминируют личинки полихет-спионид (до 180 тыс. экз./м³).

По прослеженным пикам относительной численности отдельных возрастных стадий *Pseudocalanus acuspes* суточные и годовые Р/В-коэффициенты составили 0,025–0,028 сутки⁻¹ или 8,3–9,2 год⁻¹ для копеподитов и взрослых особей и 0,08 сутки⁻¹ или 29 год⁻¹ для науплиальных стадий.

Веслоногие ракообразные *Pseudocalanus acuspes* большую часть года составляют до 95% общей численности и биомассы и дают до 90% его продукции. Годовая продукция зоопланктона озера составляет около 45% вторичной продукции, создаваемой всеми мирными беспозвоночными этого меромиктического водоема, что свидетельствует о важной роли планктонных беспозвоночных в биотическом балансе озера Могильное.

В настоящее время, благодаря полученным нами данным о первичной продукции и более точной оценке продукции зоопланктона и зообентоса, а также данным, собранным более чем за 100 лет исследований, ведется работа по оценке биотического баланса этого уникального водоема.

Relict Lake Mogilnoye (Kildin Island, Barents Sea): over 100 years of research

Gromova A.D.*, Stogov I.A., Movchan E.A.

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

* e-mail: cyan.hcn@gmail.com

Lake Mogilnoe is a relict meromictic reservoir (Kildin Island). Our research has shown that currently the zooplankton of its lake is characterized as extremely poor taxonomically (8–12 taxa), rotator-cladoceran in the mixolimnion; copepod-nektochaete in the middle water layer; complete absence below the chemocline. The copepods *Pseudocalanus acuspes* make up to 95% of the total abundance and biomass for most of the year and account for up to 90% of its production. The annual zooplankton production of the lake is about 45% of the secondary production created by all the peaceful invertebrates of this meromictic reservoir.

Происхождение личинок краба стригуна *Chionoecetes opilio* в Карском море

Липухин Э.В. *, Залота А.К., Симакова У.В.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

* e-mail: lipukhin.e@gmail.com

Краб-стригун, *Chionoecetes opilio*, является инвазивным видом для Баренцева и Карского морей. В Карском море он был обнаружен в 2012 г. (Zimina, 2014), куда попал через Баренцево море, о чем свидетельствуют более ранние находки на границе между этими морями (Agnalt et al., 2011).

Из других представителей настоящих крабов (Brachyura) в Карском море обитает только *Hyas araneus*. Оба краба относятся к одному семейству, Oregoniidae, и обладают схожими жизненными циклами и внешним видом на ранних стадиях развития, особенно, на самой первой — зоэа. На данный момент невозможно визуально достоверно отличить зоэа *C. opilio* и *H. araneus*, но краб-стригун может быть легко идентифицирован с помощью молекулярно-генетических методов (Hjelset et al., 2021).

В течение нескольких лет наблюдений (Zalota et al., 2018, 2019, 2020) за *C. opilio* в Карском море в ловах попадалось большое количество молоди, взрослые особи в том числе половозрелые самки с икрой на плеоподах и личинки на ранних стадиях развития. Пока доподлинно неизвестно, откуда происходит пополнение краба-стригуна в Карском море: личинки как могут быть занесены баренцевоморскими водами, так и вылупиться в нем.

В качестве материала использованы личинки, отобранные сетью Бонго в Карском море в июне-июле 2019 г., с четырех станций, три из которых расположены в центральной части моря и одна — в северной, на границе с Баренцевым морем. Для определения источника пополнения использовано два подхода: молекулярно-генетический, чтобы с помощью секвенирования достоверно отличить *C. opilio* от *H. araneus*, и морфометрический, чтобы выявить разные размерные группы внутри *C. opilio*. У образцов было измерено четыре размерных параметра, далее была выделена ДНК и получена ее последовательность по гену COI.

Генетический анализ показал, что последовательности *C. opilio* и *H. araneus* хорошо отличимы (схожесть ~88,7%).

Морфометрический анализ выявил на центральной станции одну основную размерную группу, а на границе с Баренцевым морем — как минимум достоверно отличимые две основные размерные группы. Мы предполагаем, что вследствие более раннего схода льда в Баренцевом море крабы там вылупляются раньше, чем в Карском, следовательно, занесенные личинки будут крупнее местных. Значит, несколько размерных групп на одной станции могут свидетельствовать о наличии разных источников происхождения образцов.

Origin of snow crab *Chionoecetes opilio* larvae in the Kara Sea

Lipukhin E. *, Zalota A., Simakova U.

Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

* e-mail: lipukhin.e@gmail.com

Chionoecetes opilio is an invasive species in the Kara Sea, where it invaded from the Barents Sea. Our work's aim is to determine the source of snow crab larvae in the Kara Sea whether they are brought by the Barents currents or they hatch in the Kara Sea.

Food spectra of non-indigenous crab *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) in the Kara Sea

Kiselev A.^{1*}, Zalota A.²

¹ Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

² Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

* e-mail: ad-kiselev@mail.ru

The snow crab *Chionoecetes opilio* is an important example of invasion in the Arctic. It was discovered in the Kara Sea in 2012 (Zimina, 2014), spreading from the Barents Sea population. The diet of snow crab in the new Kara Sea conditions is poorly studied (Burukovsky et al., 2021). The aim of this work is to study the food spectra of *C. opilio* in the Kara Sea.

The material was collected in 2020 in the central area of the Kara Sea and the bays of the Novaya Zemlya Archipelago. The stomach contents were described according to the method proposed by Burukovsky (2022): all components were counted and measured; preys' taxonomic affiliation was determined with an accuracy to class or order, or to lower taxa when possible. Proportion of each component in the food lump was estimated visually with an accuracy of 10% for full stomachs (fullness 70–100%) to calculate average virtual food lump (VFL). In total, 50 snow crabs were collected, and sixteen had full stomachs.

Snow crab stomachs contain inorganic objects (sand, stones, microplastics), detritus, plant, and animal remain (including bivalves, crustaceans, brittle stars, foraminifers, bryozoans, polychaetas, and fish vertebra). Most of the VFL contained detritus (60%) and other dead organic matter: chitin (10.7%) and dead algae (2%). Live prey is presented by brittle stars (12.5%), shrimps (11.3%), polychaetas (1.3%), and bivalves (1.3%). Sand (0.7%) was the inorganic component of the VFL.

According to the VFL, snow crabs are unselective feeders of detritus and animal prey. The stable isotopic analysis also confirms this conclusion. This differs from other studies that show predominantly animal remains (Kun & Mikulich, 1954; Tarverdieva, 2001; Chuchukalo et al., 2011). Even in 2018, in the Kara Sea, there were more brittle stars (35.4%) and less detritus (15.4%) in the VFL (Burukovsky et al., 2021).

In 2020, brittle stars in snow crab stomachs were found only in the deep-water part of Blagopoluchiya Bay. At other stations, detritus, algae fragments, bivalve shells, and inorganic particles were most often observed in the stomachs. These dissimilarities may be due to differences in the benthic fauna between the stations.

Our work demonstrates new data about the feeding of *C. opilio* in the Kara Sea. An important role of detritus and dead organic matter in the crabs' diet can be noted, and this distinguishes our results from those in other regions. The part of detritus in food spectra has increased since 2018.

The authors thank R.N. Burukovsky for teaching his method and remarks on the text. Work is supported by RSF grant №23-24-00440.

Is there food competition between cod and navaga in the White Sea?

Boeva K. *, Ivanova T., Ivanov M., Lajus D.

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

* e-mail: boeva.ksenya00@mail.ru

Atlantic cod (*Gadus morhua*) and navaga (*Eleginus nawaga*) are permanent inhabitants of the coastal areas of the White Sea. One-size individuals (150–200 mm) of these two species are often found simultaneously. This study describes the qualitative and quantitative diet patterns of one-size cod and navaga for further study of their trophic relationships.

The samples were collected using gill nets in the coastal biotope with seagrass beds (21 August 2021) and in fucoid thickets (13 September 2021). The sample consisted of 85 individuals, including 14 navaga and 31 cod in August and 20 of each species in September. The same body weight individuals group (weight: navaga 67 ± 7 g, 80 ± 5 g; cod 62 ± 5 g, 94 ± 5 g; standard length: navaga 194 ± 6 mm, 211 ± 4 mm; cod 164 ± 5 mm, 199 ± 4 mm) were specifically selected for the study.

Feeding intensity did not differ either between species or for each species between station and dates (Mann-Whitney tests, $p > 0.05$). The proportion of fish with empty stomachs was 6–7% in August and 15–20% in September. ANOSIM analysis showed a significant difference in cod diets in August compared to September and to navaga diets ($p < 0.0016$). The main difference between species is the more pronounced fish diet of cod regardless of the station and date. When juvenile three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) occurs in August, cod consume them more frequently and in higher amounts (50% of diet and 61% of occurrence) than navaga (17% and 21% respectively) (Mann-Whitney test, $p = 0.036$). Cod also consumed 6% of other fish (*Myoxocephalus* sp., *Ammodytes* sp., *Clupea* spp.). In September stickleback disappears from the inshore area and cod significantly increases the proportion of Nereididae in the diet (62% of the diet), and the importance of fish decreases to 20%. The navaga's ration is always based on polychaetes, mostly Nereididae (71% of the diet in August and 85% in September), but also includes *Arenicola marina*, *Cistenides hyperborea*, *Travisia forbesii* (up to 3% each).

Therefore, both species are euryphagous and in the presence of large numbers of small fish (stickleback juveniles) actively use this prey. However, even being of a small size cod demonstrates a more predatory diet than one-size navaga, which mainly feeds on polychaetes.

The project is supported by the Russian Science Foundation grant 22-24-00-956. The authors are grateful to the administration of the SPbSU ERS "Belomorskaia" for the opportunity to work year-round on the White Sea.

Влияние ограниченности ресурса — свободного пространства — на уровень внутривидовой конкуренции у губок *Halichondria panicea* (Pallas, 1766)

Манойлина П.А.^{1*}, Комендантов А.Ю.¹, Шапошникова Т.Г.², Халаман В.В.¹

¹ Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш»

² Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра гистологии, Санкт-Петербург

* e-mail: polinamanoilina@yandex.ru

Губки — обычный компонент эпифаунных сообществ, а инкрустирующая форма некоторых видов этих животных и их модульное строение приводит к тому, что губки чаще других седентарных организмов оказываются победителями в конкурентной борьбе за пространство (Russ, 1982; Халаман, Комендантов, 2016). Одним из механизмов как захвата ресурса, так и избегания конкурентов у модульных организмов и у губок, в частности, является корректировка форм роста (Franco, 1986). Поэтому целью данной работы было выявление особенностей роста губки *Halichondria panicea* при внутривидовой конкуренции в условиях нехватки пространства для роста. Для этого на полигоне в бухте Круглая, расположенной рядом с ББС ЗИН РАН «мыс Картеш» (губа Чупа Кандалакшского залива Белого моря) был проведен следующий полевой эксперимент. На экспериментальные планшеты были прикреплены по два изогенных (взятых от одной особи) или аллогенных (взятых от разных особей) фрагмента губок. Размеры фрагментов были либо 4×4, либо 2×2 см. Контролем послужили планшеты, несущие только один фрагмент губки. В июне 2021 г. планшеты были вывешены в воде на глубине 3 м без контакта с дном. В середине августа была произведена фоторегистрация результатов эксперимента. Морфометрические параметры губок определяли по фотоснимкам с помощью программы анализа изображений ImageJ. Для статистической обработки данных использовали двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями и метод сравнения выборок с попарно-связанными вариантами.

Результаты нашего эксперимента позволяют заключить следующее. Внутривидовая конкуренция между существует только между аллогенными особями губки *H. panicea* проявляется в уменьшении скорости роста конкурирующих особей. Конкуренция между изогенными особями *H. panicea* отсутствует вовсе, а слияние изогенных фрагментов, по-видимому, приводит к увеличению общей потенции губки в захвате субстрата. При этом, стратегия ослабления внутривидовой конкуренции у этих губок заключается в том, что особи стараются занять как можно больше площади субстрата до непосредственного контакта с конкурентом, ограничивая при этом свой рост в сторону конкурента.

Проект выполнен при поддержке гранта № 20-54-15002 НЦНИ_а.

The effect of space limitation on intraspecific competition in sponge *Halichondria panicea* (Pallas, 1766)

Manoilina P.^{1*}, Komendantov A.¹, Shaposhnikova T.², Khalaman V.¹

¹ Zoological Institute of RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”

² Saint Petersburg University, Department of Histology, Saint Petersburg

* e-mail: polinamanoilina@yandex.ru

The aim of this study is to identify the main growth features of *Halichondria panicea* in conditions of intraspecific competition and lack of space. In such conditions, intraspecific competition exists only between allogeneic individuals of the sponge *H. panicea*.

Реакция беломорских *Mytilus edulis* и *M. trossulus* на присутствие морских звезд

Ершова Т.А.¹, Хайтов В.М.^{1,2,3*}

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

² Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург.

³ Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша

* e-mail: polydora@rambler.ru

Mytilus edulis и *M. trossulus* — криптические виды, формирующие смешанные поселения на мелководьях Белого моря. Оба вида подвержены атакам морских звезд (*Asterias rubens*). При этом, известно, что эти хищники активнее нападают на *M. trossulus* (Khaitov et al., 2018). При изучении аналогичной системы в Канаде (Lowen et al., 2013) было показано, что *M. trossulus* демонстрируют более слабые защитные реакции, направленные против хищников (например, слабее прикрепляются к субстрату). В данной работе мы сравнивали реакцию двух видов мидий на присутствие морских звезд в условиях Белого моря.

Было проведено два эксперимента. В первом производили подсчет количества биссусных нитей, которые вырабатывают мидии в ответ на присутствие морских звезд. Для этого мидий разных видов индивидуально рассаживали в стандартные бакпечатки (емкости из оргстекла объемом 25 см³), в крышках которых были просверлены отверстия для водообмена. Бакпечатки были помещены в контейнеры, в которых содержались морские звезды и контрольные садки без звезд. Материал был свешен в море и экспонировался в течение четырех суток. Далее производился подсчет количества следов прикрепления биссуса на стенках бакпечатки. Во втором эксперименте измеряли силу прикрепления. На керамические пластины, разделенные пластиковыми бортиками на 25 ячеек, были высажены мидии разных видов. Каждая мидия занимала отдельную ячейку. Сверху вся конструкция была затянута делью, препятствовавшей перемещению мидий. Пластины закрепляли под садками, в которых находились морские звезды, и под контрольными садками без звезд. Все конструкции были свешены в море. Через пять дней мы измеряли силу прикрепления мидий, используя электронный динамометр.

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа (факторы «Вид», «Наличие звезд» и взаимодействие факторов) мы выявили более сильное прикрепление биссуса у *M. trossulus*. При наличии сигнала от морских звезд оба вида прикреплялись сильнее, чем в случае контроля. Однако взаимодействие факторов не было статистически значимым, что свидетельствует о том, что оба вида демонстрировали одинаковую реакцию на сигналы, исходящие от хищников. Дисперсионный анализ не выявил значимых различий в количестве биссусных нитей по отношению ко всем изученным факторам.

Response of *Mytilus edulis* and *M. trossulus* to the presence of sea stars in the White Sea

Ershova T.¹, Khaitov V.^{1,2,3*}

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

2 Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg.

3 Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

* e-mail: polydora@rambler.ru

We studied the dependence of byssus attachment strength and the number of byssus filaments formed between *Mytilus edulis* and *M. trossulus* on the presence of sea stars. It was shown that both species are more strongly attached to the substrate in the presence of sea stars. No differences in the number of byssus threads were detected.

Влияние мидий на жизнедеятельность литоральных брюхоногих моллюсков за счет прикрепления к ним биссусных нитей

Бритиков А.И.¹, Хайтов В.М.^{1,2,3*}

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

² Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

³ Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша

* e-mail: polydora@rambler.ru

Среди консортов мидиевых друз одними из самых многочисленных форм оказываются брюхоногие моллюски (Littorinidae и Hydrobiidae). Ранее было показано, что в мидиевых друзьях количество мертвых улиток значительно превышает их обилие за пределами скопления мидий (Хайтов, Артемьева, 2004). Большинство погибших гастропод в друзьях несет следы прикрепления биссуса. Предполагается, что улитки заползают в дружку, привлеченные обильной пищей (детрит, микрообрататели раковин миди), но после прикрепления биссуса гибнут. Прямых доказательств негативного влияния биссуса ранее не выявлено. Целью нашей работы, было узнать, как влияет прикрепление нитей биссуса на пищеварение и скорость роста улиток.

Материал был собран на илисто-песчаной литорали Южной губы острова Ряжков (территория Кандалакшского заповедника). Мы собирали мидиевые друзья с улитками, прикрепленными нитями биссуса, и отлавливали литторин (*Littorina saxatilis*) и гидробий (Hydrobiidae gen. sp.), ползающих по поверхности грунта. Поле промывки проб, улиток сразу (в течение нескольких минут) рассаживали по ячейкам планшета. В каждой ячейке, заполненной морской водой, содержалась одна особь из мидиевых друз (далее «плененные» особи) или особь, собранная вне скоплений мидий. После периода экспозиции (сутки в неотопливаемом помещении) мы подсчитывали число пеллет фекалий в каждой лунке. У всех моллюсков мы измеряли высоту устья и величину годового прироста раковины (угол между рубцом последней остановки роста и краем раковины). Всего было обработано по 60 плененных гидробий и литторин, и по 75 свободных особей двух видов.

Число пеллет у свободных литторин было статистически значимо больше, чем у плененных. В то же время, у мелких плененных гидробий число пеллет было выше по сравнению со свободными моллюсками, у крупных гидробий различия между свободными и плененными особями не были выявлены. Угловой прирост раковины, у представителей свободных и плененных моллюсков почти не отличается.

Наше исследование показало, что гидробии, могут находиться в друзьях без особого ухудшения и даже с небольшим увеличением интенсивности питания. Мы полагаем, что это связано со способом питания этих улиток. Гидробии используют в пищу диатомовые водоросли, бактерии и прочие компоненты, связанные с частицами донных осадков (Lopez & Levinton, 1978), которые в изобилии представлены в мидиевых друзьях (Norling & Kautsky, 2008). Будучи плененными, гидробии получают пищу, находящуюся рядом с ними, не тратя при этом дополнительной энергии на перемещение, как это делают свободные гидробии. Литторины демонстрируют иной способ питания: они потребляют перифитон, соскребая его радулой с поверхности твердого субстрата (Otero-Schmitt et al., 1997). Будучи плененными, они лишены возможности перемещаться на новые, еще неиспользованные участки, и, как следствие, находятся в условиях нехватки пищи. Таким образом, мидии оказывает небольшое положительное влияние на гидробий, но резко отрицательное на литторин.

Influence of mussels on the littoral gastropods by attaching of byssus threads

Britikov A.¹, Khaitov V.^{1,2,3*}

¹ Laboratory of Marine Benthic Ecology, "Krestovsky ostrov" Ecology and Biology centrum, Saint Petersburg

² Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

³ Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha

* e-mail: polydora@rambler.ru

We studied fecal pellet production and shell growth in two littoral gastropod species. Two groups were studied: those attached by byssus and free ones. It was shown fecal production between captured *Littorina saxatilis* was lower than between free ones. In small Hydrobiidae, the opposite pattern was observed. Growth of captured and free snails did not differ.

Повлияет ли изменение климата на инвазионную способность церкарий *Himasthla elongata* (Trematoda: Himasthliidae)?

Федоров Д.Д.^{1*}, Левакин И.А.¹, Николаев К.Е.¹, Галактионов К.В.^{1,2}

¹ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

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

Нами была предпринята попытка оценить, как изменение климата скажется на трематодах, циркулирующих в субарктике. Актуальность настоящей работы связана с тем, что в последние столетие наблюдается тенденция к изменению климата, в частности повышение температуры воды и снижение значений pH Мирового океана. Подобное исследование ранее проводилось в Новой Зеландии, в водах Тихого океана (pH 8,1), где было оценено влияние пониженного pH воды на инвазионную способность церкарий *Maritrema novaezealandense* (Microphallidae) по отношению ко второму промежуточному хозяину, амфиопе *Paracalliope novizealandiae* (Harland et al., 2015). По полученным данным снижение pH до 7,4 увеличивает инвазионную способность церкарий, что авторы связывают со снижением устойчивости хозяина к заражению церкариями.

Чтобы понять, как изменение климата повлияет на успех трансмиссии трематод, на Белом море (pH 7,8) нами было проведено экспериментальное заражение мидий церкариями *Himasthla elongata* (сем. Himasthliidae) при различных pH и температуре воды. Жизненный цикл этого вида протекает с участием трех хозяев: первый промежуточный — брюхоногий моллюск *Littorina littorea*, второй промежуточный — *Mytilus edulis*, а роль окончательного играют морские птицы.

Для проведения экспериментального заражения нами была собрана специальная установка, способная поддерживать заданный pH (7 и 8) и температуру воды (14 °C, 16 °C, 20 °C, 24 °C). В качестве контрольных значений выступали: средняя температура и pH воды в летнее время на Белом море (t = 16 °C и pH = 8). Мидий (в течении 24 часов) и церкарий *H. elongata* (в течении 2 часов) акклимировали к изучаемой комбинации факторов. Совместная экспозиция проводилась в течение 24 часов. После этого мидий извлекали из установки, каждого моллюска вскрывали, а их мягкие ткани продавливали между двумя стеклами и просматривали в проходящем свете под бинокляром МБС-10. Успех заражения оценивали по отношению количества метацеркарий, обнаруженных в тканях мидий, к количеству церкарий использованных для заражения. Каждый эксперимент включал в себя 12 повторностей.

Результаты эксперимента показали, что при температуре воды 16 °C и пониженном pH = 7, достоверно (ANOVA, p < 0,01) снижается инвазионная способность *H. elongata*. Однако, при pH = 7 и повышении температуры до 20 °C и 24 °C инвазионная способность личинок не снижается (χ^2 тест, p > 0,05). Из этого следует, что при одновременном снижении pH и повышении температуры мирового океана, церкарии *H. elongata* не станут хуже заражать *M. edulis*, что может говорить о их высокой экологической пластичности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-14-00170.

Will climate change affect the invasive capacity of *Himasthla elongata* (Trematoda: Himasthliidae) cercariae?

Fedorov D. D.^{1*}, Levakin I. I., Nikolaev K. E., Galaktionov K. V.^{1,2}

¹ Zoological Institute of RAS, Saint Petersburg

² Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

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

We have carried out an experimental infection of mussels (*Mytilus edulis*) with *Himasthla elongata* (Himasthliidae) cercariae at different temperatures and water pH. We have shown that the invasive ability of larvae does not decrease with a decrease in pH and an increase in water temperature.

Различие в экстенсивности инвазии мелких брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae* на разных субстратах на литорали Белого моря

Зенков Е.А.^{1,2*}, Семенова Е.В.¹, Аристов Д.А.^{1,3}

¹ Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Эколого-биологический центр «Крестовский остров», Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, Санкт-Петербург

³ Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

* e-mail: julzenkov1@yandex.ru

Мелкий брюхоногий моллюск *Peringia ulvae* массово встречается на литорали многих морей северного полушария, включая Белое море. Представители этого вида выступают в качестве первого промежуточного хозяина для многих видов трематод. На литорали *P. ulvae* могут встречаться на разных субстратах, таких как поверхность илисто-песчаного грунта, крупные камни, талломы водорослей, раковины других моллюсков. Все это делает их интересными модельными объектами для изучения распределения зараженных особей в неоднородных местообитаниях, среди скоплений, населяющих различные субстраты.

В ходе исследования мы сравнивали экстенсивность инвазии моллюсков трематодами в качественных сборах, взятых с крупных камней (А), лежащих на литорали, и с илисто-песчаного грунта (В) в пределах того же участка литорали на островах Ряжков, Девичья луда (Кандалакшский залив) и Большой Соловецкий (Онежский залив).

Нами были встречены представители семи таксонов трематод: *Microphallus pirum*, *M. claviformes*, *Maritrema subdolum*, *Levinseniella brachysoma*, *Bunocotyle progenethica*, *Himasthla* sp., *Notocotylidae* gen. sp. Для *Levinseniella brachysoma* и *Himasthla* sp., была выявлена тенденция к большей вероятности встречи зараженных ими моллюсков на одном из выделенных нами типов субстрата: экстенсивность инвазии *Levinseniella brachysoma* была выше в моллюсках, собранных с субстрата А, а *Himasthla* sp. — в моллюсках с субстрата В. Таким образом, вероятность встречи *P. ulvae*, зараженных отдельными видами паразитов, может различаться на разных типах субстратов. Ранее сходный эффект был обнаружен для другого вида моллюсков — *Littorina saxatilis* в условиях Баренцева и Белого морей (Галактионов, Русанов, 1983; Сергиевский и др., 1984). Для остальных видов трематод нам не удалось выявить видимых отличий в частоте встречаемости среди моллюсков с обоих исследуемых типов субстрата (А и В).

В среднем, более высокое разнообразие паразитов во всех местах сбора обнаружено в пробах моллюсков с грунта. Видовой состав заражения и экстенсивность инвазии *P. ulvae* разными видами трематод сильно варьируют в разных географических точках. По-видимому, это связано с различным влиянием абиотических факторов и особенностей конкретных местообитаний на успешность реализации жизненных циклов отдельных видов паразитов в отдаленных друг от друга точках сборов. Также локация, скорее всего, отличается по частоте посещаемости их разными видами морских птиц — окончательных хозяев трематод.

Мы предполагаем, что различие в экстенсивности инвазии моллюсков на разных субстратах может быть связана с влиянием паразитов на физиологию и поведение хозяев, а также с особенностями распределения по литорали инвазионного начала.

Prevalence of trematode infection in mud snails *Peringia ulvae* from different substrates at the White Sea intertidal

Zenkov E.^{1,2*}, Semyonova E.¹, Aristov D.^{1,3}

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

² Saint Petersburg University, Faculty of Biology, Saint Petersburg

³ Zoological Institute of RAS, Saint Petersburg

* e-mail: julzenkov1@yandex.ru

We compared infection of mud snails *Peringia ulvae* by several trematode species between samples from different types of substrates (boulders and soft sediment) at the White Sea intertidal. The infection level and trematode species composition differed on two types of substrates. This can be explained by the influence of trematodes on the host physiology and substrate selection behavior.

Паразиты бесхвостых амфибий острова Средний Керетского архипелага Белого моря

Кузнецова Э.Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, институт Фундаментальной медицины и биологии, кафедра зоологии и общей биологии, Казань
e-mail: elza_elza99@mail.ru

Достаточно большое внимание в настоящее время уделяется изучению земноводных. Двойственный образ жизни, связанный как с водной, так и наземной средой, обуславливает не только целый ряд морфологических и физиологических особенностей представителей амфибий, но и определяет качественный и количественный состав их паразитофауны. В настоящее время идет активное изучение паразитофауны амфибий, в частности, самого многочисленного отряда бесхвостых земноводных на урбанизированных территориях. Несомненно, важно вести наблюдения и анализ качественного и количественного состава паразитофауны животных, обитающих на смежных с человеком территориях, так как амфибии широко вовлечены в циркуляцию паразитов по трофическим цепям, частью которых так же является человек. Однако, территории, на которых прессинг со стороны человека выражен не так сильно, остаются малоизученными и, в свою очередь, являются не менее интересными для анализа.

Данная работа представляет собой анализ паразитофауны бесхвостых амфибий о. Средний Керетского архипелага Белого моря. На территории острова обитает два вида бесхвостых амфибий: серая или обыкновенная жаба (*Bufo bufo*) и травяная лягушка (*Rana temporaria*). Для уменьшения антропогенного давления на популяцию амфибий исследование паразитофауны производилось при помощи метода прижизненного изучения питания (Куранова, 1983). Его суть заключается в анализе экскрементов, в которых, помимо пищевых остатков, можно обнаружить паразитические организмы. В ходе исследования также были найдены мертвые особи, которые подверглись гельминтологическому вскрытию по Скрыбину (Скрыбин, 1928).

В ходе анализа паразитофауны бесхвостых амфибий о. Средний Керетского архипелага Белого моря было обнаружено пять видов паразитических организмов: Protozoa: *Opalina ranarum* (Purkinje et Valentin, 1835), Plathelminthes: *Haplometra cylindracea* (Zeder, 1800) и Nematoda: *Rhabdias bufonis* (Shrank, 1788), *Oswaldocruzia filiformis* (Goeze, 1782) и *Cosmocerca ornate* (Dujardin, 1845).

Parasites of Anura amphibians of the Middle Island of Keretsky Archipelago of the White Sea

Kuznetsova E.

Kazan Federal University, Institute of Fundamental Medicine and Biology, department of Zoology and General Biology, Kazan
e-mail: elza_elza99@mail.ru

This study is an analysis of parasite fauna of Anura amphibians on the Middle Island. The material for the study was collected by the method of lifetime study of nutrition to reduce anthropogenic pressure on the population of *Bufo bufo* and *Rana temporaria*.

Helminths of the marine and freshwater populations of the three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* in the water area near the Pertsov White Sea Biological Station

Logvinenko A.^{1*}, Gordeev I.^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Invertebrate Zoology Department, Moscow

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow

* e-mail: andreylgv@yandex.ru

In the vicinity of the Nikolai Pertsov White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University (66.556225N; 33.109288E) there are several known populations of the euryhaline three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*. Definable genetic differences are known between these three populations, marine (in the Velikaya Salma Straight), freshwater (in Nizhnee Ershovskoye Lake) and brackish (comes to spawn in the brackish Nizhnee Ershovskoye Lake connected with the Kislaya Bay) (Terekhanova et al., 2014). Parasitic faunas of these populations are interesting to compare. Three-spined stickleback in White Sea harbors a few specific parasites in both fresh and marine water bodies, although around WSBS (in Chernorechenskaya Bay and Chupa Bay) none of them were recorded (Shulman, Shulman-Albova, 1953; Rybkina et al., 2016).

In this research, a total of 41 sticklebacks from freshwater, 34 from marine and ten from brackish population were studied using standard parasitological methods. Parasites were identified by morphological features and molecular genetic methods (28S rDNA and *cox1* genes for cestodes, 28S rDNA and ITS1 genes for trematodes, *cox2* gene for nematodes). So far, we have only preliminary results. The bulk of parasitic infection of the marine sticklebacks were nematodes of the Ascaridomorpha group: *Anisakis simplex* (prev. 71%) and *Hysterothylacium aduncum* (prev. 53%). Digenean *Lecithaster salmonis* (prev. 53%) and *Brachyphallus crenatus* (prev. 12%) were also quite frequently found. Specimens from the brackish population were not infected with freshwater parasites, apparently due to recent migration from the sea. However, nematodes and trematodes of the marine origin were found: *A. simplex* (prev. 60%), *H. aduncum* (prev. 40%), *B. crenatus* (prev. 10%), and *L. salmonis* (prev. 60%). The parasite fauna of the freshwater population was significantly different from two others and comprised cestodes *Schistocephalus solidus* (prev. 98%) and metacercaria of *Diplostomum spathaceum* (prev. 24%). All found parasites, except *S. solidus*, are tended to be common in the area and of low host specificity. However, further processing of the collected material will allow to draw reliable conclusions about the similarities and differences in stickleback parasite fauna in three studied populations.

Описание паразитофауны литоральных ракообразных, собранных в окрестностях поселков

Териберка и Дальние Зеленцы

Макарова А.С.^{1*}, Степанова Т.С.¹, Дюмина А.В.², Унтилова А.А.³

¹ ГБОУ «Балтийский Берег», ГорСЮТур, Санкт-Петербург

² Зоологический Институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* e-mail: 9412334@gmail.com

Литоральные бентосные сообщества представляют собой важное связующее звено в жизненных циклах паразитов целого ряда водоплавающих птиц, морских млекопитающих, литоральных и сублиторальных рыб. Многие из паразитических организмов используют литоральных ракообразных в качестве хозяев, причем как промежуточных, так и окончательных. На литорали Баренцева моря особый интерес с этой точки зрения вызывают представители родов *Gammarus*, *Balanus* и *Semibalanus*. На данный момент, паразитофауна литоральных ракообразных описана Успенской (1963) для окрестностей Дальних Зеленцов. Также подобный анализ был проведен для амфипод нескольких заливов Баренцева моря Плаксиной и Куклиной (2022). Однако комплексного анализа паразитофауны литоральных гаммарид и баянусов для нескольких близлежащих заливов, с учетом распределения паразитов на разных горизонтах литорали, ранее не проводилось.

В рамках данного исследования выполнен анализ паразитофауны литоральных гаммарид и баянусов в окрестностях Териберки и Дальних Зеленцов. В районе Териберки материал был собран в губах Долгой и Лодейной. В окрестностях Дальних Зеленцов — в губах Вороньей, Ярнышной, Дальне-Зеленецкой, Шельпинской, а также бухтах Подпахта и Порчниха. По проведенным сборам создана коллекция тотальных препаратов, окрашенных квасцовым кармином по стандартному протоколу. Нами были обнаружены метацестоды родов *Microsomacanthus* и *Fimbriarioides*, метацеркарии родов *Podocotyle*, *Microphallus* и *Maritrema*, цистаканты *Polymorphus phippsi*, нематоды рода *Ascarophis*, а также паразитические изоподы семейства *Vorygidae*. Последние не указаны в работе Плаксиной и Куклиной (2022), хотя по нашим данным именно эктопаразитические изоподы представлены наиболее широко как в окрестностях Териберки и Дальних Зеленцов.

Description of parasite fauna of littoral crustaceans from the vicinity of Teriberka and Dalnye

Zelentsy settlements

Makarova A.^{1*}, Stepanova T.¹, Diumina A.², Untilova A.³

¹ SBEI “Baltijskij Bereg”, MSYTur, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

³ Saint Petersburg University, Saint Petersburg

* e-mail: 9412334@gmail.com

In this research we studied parasite fauna of littoral Gammaridae and *Balanus* spp. of Teriberka and Dalnye Zelentsy settlements. Parasite species composition was analyzed with respect to locality and vertical zonation.

Неожиданное препятствие: влияние коконов *Turbellaria* на закапывание *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758)

Черецкая В.С.^{1*}, Аристов Д.А.^{1,2}, Крупенко Д.Ю.³

¹ Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш»

³ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

* e-mail: vasilisacheretskaya@mail.ru

Macoma balthica — вид двустворчатых моллюсков, массовый обитатель литорали, которым питается множество животных. Защитной реакцией макомы от хищников является ее активное закапывание. При этом на створках некоторых из этих моллюсков обнаруживаются коконы турбеллярий, вероятно, из рода *Provortex* (Neodalyellida: Rhabdocoela), которые могут мешать ее закапыванию. Целью данного исследования было выяснить, какое влияние оказывает наличие коконов на процесс закапывания у *Macoma balthica*.

Для достижения цели мы сравнили продолжительность процесса закапывания 108 экземпляров *Macoma balthica* длиной от 0,6 до 12,2 мм, с коконами турбеллярий на раковинах и без них. Кроме того, мы оценили наличие этих коконов в двух выборках моллюсков, собранных из двух точек на литорали в вершине Кандалакшского залива (о. Рязков).

Процесс закапывания маком делится на две стадии: от начала активности до принятия вертикального положения и от этого момента до конца закапывания. Мы не обнаружили разницы в общей продолжительности процесса закапывания у особей с коконами и без, но четкие отличия прослеживаются в продолжительности отдельных стадий. *Macoma balthica* с коконами принимают вертикальное положение быстрее, чем моллюски без коконов. При этом макомы с коконами закапываются дольше, чем макомы без коконов, причем этот эффект значим только для моллюсков с длиной раковины меньше 3 мм. Особи с коконами делают больше подтягиваний раковины ногой во время закапывания, чем особи без коконов. Мы выяснили, что из 108 особей 17% имели коконы на раковине, но от точки к точке этот показатель может значительно варьировать.

Наличие коконов на створках раковины, влияет на продолжительность стадии от принятия вертикального положения до конца закапывания мелких *Macoma balthica*. Деятельность исследованных турбеллярий вредно отражается на таких макомах, делая их более уязвимыми для хищников.

The unexpected obstacle: the impact of turbellarian cocoons on the *Macoma balthica* burrowing behavior

Cheretskaya V.^{1*}, Aristov D.^{1,2}, Krupenko D.³

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

² Zoological Institute of RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”

³ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

* e-mail: vasilisacheretskaya@mail.ru

We compared the burrowing rate of 108 *Macoma* clams with and without *Provortex* sp. turbellarian cocoons and found out that the presence of cocoons affects this parameter especially for young specimen. Among the 108 individuals, 17% had cocoons on the shell, but the frequency can vary considerably with locations.

Сравнительная характеристика структуры биоценозов каменистых литоралей Ярнышной и Долгой губ Баренцева моря

Ефименко Е.М.^{1}, Дюмина А.В.², Булавинова В.И.³, Унтилова А.А.³*

¹ ГБОУ «Балтийский Берег», ГорСЮТур, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* e-mail: 6888008@bk.ru

Изучение бентосных сообществ арктических морей — перспективное направление современной морской биологии. С этой точки зрения Баренцево море представляет большой интерес как достаточно разнородное местообитание с довольно специфическими условиями. Однако большинство исследований выполнено в открытых частях моря, прибрежные акватории изучены менее полно. При исследовании бентосных сообществ в отдельных заливах также обычно рассматривают сублитораль, не уделяется при этом особого внимания литорали. Литоральные бентосные сообщества исследовались с комплексным подходом в течение длительного времени лишь в некоторых отдельно взятых заливах. К примеру, в Ярнышной губе проводятся в основном узконаправленные экологические исследования, эту экосистему считают эталоном ненарушенной системы (Капков и др., 2022). Похожий по условиям, но намного хуже изученный залив — Долгая губа — находится в окрестностях села Териберка. Ярнышная и Долгая схожи между собой — открытого типа, с грунтом, образованным крупными валунами и щебнем. В связи с этим интерес представляет комплексная сравнительная характеристика литоральных сообществ данных заливов с целью выявления свойств, в целом характеризующих сообщества каменистой литорали Баренцева моря.

Материал был собран в июле 2022 года на литорали данных заливов во время отлива. Были взяты 34 пробы в семи точках (три в Долгой и четыре в Ярнышной). В каждой точке бралась проба водорослей с 0,25 м² в переходной зоне между литоралью и сублиторалью, под ней проба грунта с площади 1/127 м². Таким же способом брались пробы с литорали выше. В Ярнышной губе с середины литорали бралась одна проба водорослей и одна проба грунта (т.к. в предыдущих исследованиях удалось показать, что видовая структура в разных горизонтах литорали достоверно не отличается). В Долгой губе брались грунт и водоросли с середины и верхнего горизонта литорали в целях выявления возможных различий в видовой структуре в разных горизонтах литорали. Выполнена полная количественная разборка проб, полученные первичные данные обрабатывались в среде R 4.1.1.

В рамках данного исследования проведена детальная сравнительная характеристика структуры изучаемых макробентосных сообществ. Проведен анализ их видового состава и пространственного распределения гидробионтов в них. Отдельное внимание уделяется особенностям экотона литорали и сублиторали Ярнышной и Долгой губы. Отмечено достаточно бедное видовое разнообразие в Долгой губе по сравнению с Ярнышной, что может быть связано с антропогенной нагрузкой.

Structure comparison of rocky littoral communities in the Yarnyshny and Dolgaya bays of the Barents Sea

Efimenko E.^{1}, Diimina A.², Bulavinova V.³, Untilova A.³*

¹ SBEI “Baltijskij Bereg”, MSYTur, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

³ Saint Petersburg University, Saint Petersburg

* e-mail: 6888008@bk.ru

We compared the structure of stony littoral communities of Dolgaya (Teriberka: Murmansk district) and Yarnyshnaya (Dalnye Zelentsy: Murmansk district) bays in terms of such parameters as distribution, species and quantitative composition of hydrobionts.

Сравнительная характеристика структуры литоральных сообществ губы Лодейная и Дальне-Зеленецкая

Зыкова М.А.^{1}, Желтова П.А.¹, Унтилова А.А.², Булавинова В.И.², Дюмина А.В.³*

¹ ГБОУ «Балтийский Берег», ГорСЮТур, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³ Зоологический институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

* e-mail: mashkazykova@yandex.ru

Экосистемы илисто-песчаной литорали неоднородны из-за гетерогенности заселяемого биотопа и из-за характера пространственной структуры популяций видов-эдификаторов, что обуславливает формирование мозаичной структуры сообществ. В гетерогенной структуре илисто-песчаной литорали Дальне-Зеленецкой губы можно выделить пэтчи (пятна) водорослей и переходные зоны между ними (Ефименко, 2021). В рамках данной работы пэтчи — это пучки водорослей, мозаично расположенные на литорали, грунт под ними и населяющие их гидробионты. Согласно результатам прошлых исследований, пэтчи Дальне-Зеленецкой губы достоверно отличаются по своему видовому составу от переходных зон между ними. Литораль Лодейной губы схожа по условиям среды с Дальне-Зеленецкой губой Баренцева моря, поэтому мы выдвигаем гипотезу о том, что в Лодейной губе также можно выделить пэтчи.

Целью нашей работы является сравнение характера мозаичной структуры сообществ илисто-песчаной литорали губ Дальне-Зеленецкая и Лодейная.

В ходе работы было взято по 24 пробы в четырёх точках в губах Лодейная и Дальне-Зеленецкая. В каждой точке были взяты две пробы с пэтча, две пробы грунта около пучка водорослей, проба грунта и проба водорослей в переходной зоне между литоралью и sublittoralю. Была выполнена полная количественная разборка проб. Затем все животные, изъятые из проб, были определены, взвешены и пересчитаны, а также представители типа Mollusca были измерены для дальнейшей статистической обработки в среде R 4.1.

В рамках данного исследования в Дальне-Зеленецкой губе было выявлено увеличение видового разнообразия и общей численности гидробионтов по сравнению с предыдущими годами. Для Лодейной губы отмечено намного более низкое видовое разнообразие гидробионтов, чем в Дальне-Зеленецкой губе, что может быть связано с сильным распреснением или более высокой антропогенной нагрузкой. При этом достоверных различий в видовой структуре пэтчей и их окружения в Лодейной губе выявлено не было, при наличии неоднородного субстрата в виде пучков водорослей гидробионты здесь, в отличие от Дальне-Зеленецкой губы, распределены относительно равномерно. Своего рода упрощение структуры литоральных сообществ Лодейной губы также говорит в пользу их деградации из-за влияния внешних факторов.

Comparative characteristics of the structure of the littoral communities of the Lodeynaya and Dalne-Zelenetskaya bays

Zykova M.^{1}, Zheltova P.¹, Untilova A.², Bulavinova V.², Diimina A.³*

¹ SBEI “Baltiiskij Bereg”, MSYTur, Saint Petersburg

² Saint Petersburg University, Saint Petersburg

³ Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

* e-mail: mashkazykova@yandex.ru

We compared the structure of communities in the muddy-sand littoral of the Dalne-Zelenetskaya and Lodeynaya bays of the Barents Sea.

Выбор субстрата для оседания кольчатými червями *Spirorbis* spp. на литорали окрестностей поселка Дальние Зеленцы

Подошвина А.В.^{1*}, Поттер И.А.¹, Дюмина А.В.², Булавинова В.И.³, Унтилова А.А.³

¹ ГБОУ «Балтийский берег», ГорСЮТур, Санкт-Петербург

² Зоологический Институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* e-mail: 78kartoshek@gmail.com

Данное исследование посвящено представителям семейства Serpulidae, рода *Spirorbis* — сидячим полихетам, образующим известковые домики. *Spirorbis* spp. встречаются в пределах крайне обширного ареала, от глубины 5000 метров до верхней литорали. В столь разнообразном по условиям местообитания представители рода *Spirorbis* имеют в распоряжении огромный выбор субстрата для оседания. В литоральной зоне они встречаются, как правило, на водорослях. Ранее было выявлено, что макрофиты являются более привлекательным субстратом из-за наличия бактериальной пленки (Crisp and Ryland, 1960) Целью данной работы было выявить наиболее предпочтительные для оседания *Spirorbis* spp. виды макрофитов на литорали окрестностей пос. Дальние Зеленцы (Баренцево море) и определить, есть ли у таких видов специфические особенности микрофлоры поверхности, делающие их привлекательнее других.

Мы провели анализ частоты встречаемости *Spirorbis* spp. на разных видах водорослей в разных точках окрестностей Дальних Зеленцов — от губы Вороньей до Шельпино. В каждом исследуемом заливе (г. Воронья, б. Подпахта, г. Ярнышная, г. Дальне-Зеленецкая, б. Плохие Чевры, б. Шельпинская) выбиралось по пучку весом 300 г от наиболее массово представленных макрофитов, после чего учитывались все осевшие на пучок особи рода *Spirorbis*. Было выявлено, что в пробах *Spirorbis* чаще всего встречаются на *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *F. distichus* и *Palmaria palmata*. Эти виды водорослей были далее включены в эксперимент. По три полностью очищенных от обрастателей и различных беспозвоночных пучка каждого вида водорослей закреплялись на металлическом каркасе, и с помощью бечевки и камней конструкция фиксировалась на литорали. В качестве контроля использовались макрофиты, на которых в пробах *Spirorbis* spp. практически не встречались — *Ascophyllum nodosum*. Экспозиция длилась две недели. Затем на каждом пучке водорослей учитывались все осевшие особи *Spirorbis* и с поверхности брался посев на микрофлору, инкубация которого проводилась в течение трех месяцев при теплой комнатной температуре. Для контроля было приготовлено три чашки Петри с чистой средой. Чашки Петри с полученными культурами были отсняты, микробиологические мазки окрашивались по Грамму и заключались в канадский бальзам под покровное стекло.

По результатам эксперимента наиболее предпочтительным видом макрофита для оседания оказался вид *F. serratus*, что согласуется с имеющимися литературными данными. В культурах микрофлоры с поверхности водорослей наибольшее число колоний с наибольшей площадью наблюдалось у *F. serratus*, *F. vesiculosus* и *A. nodosum*. При этом все они отличались по соотношению коккоидных и палочковидных форм в колониях. Для представителей рода *Fucus* также характерно большое количество гифов плесневидных организмов (что мы можем с уверенностью считать частью естественной микрофлоры этих макрофитов, т.к. в чистой среде подобных гифов обнаружено не было). Таким образом, наиболее привлекательным для оседания *Spirorbis* spp. субстратом оказались *F. serratus*, обладающие видоспецифической микрофлорой на поверхности.

Substrate selection for settlement by annelids *Spirorbis* spp. on the littoral of the environs of Dalnie Zelentsy

Podoshvina A.^{1*}, Potter I.¹, Dyumina A.², Bulavinova V.³, Untilova A.³

¹ SBEI “Baltijskij Bereg”, MSYTur, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

³ Saint Petersburg University, Saint Petersburg

* e-mail: 78kartoshek@gmail.com

We identified preferred seaweeds for *Spirorbis* spp. on the littoral of the environs of Dalnie Zelentsy (Barents Sea). In this research we analyzed occurrence of these polychaetes at different localities and in field experiments with the following microbial culture.

Использование искусственного интеллекта и видеосъемки для изучения миграций трехиглой колюшки в прибрежной зоне Кандалакшского залива Белого моря

Ташбаев Д.У.^{1}, Садиех С.А.², Иванова Т.С.¹, Иванов М.В.¹, Лайус Д.Л.³*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

² Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

³ Независимый исследователь

* e-mail: daniil1311970@gmail.com

В конце 1990-х годов численность трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) в Белом море начала быстро расти, и эта рыба стала наиболее многочисленной в Белом море. В связи с этим растет и интерес к разным аспектам биологии этого вида. Целью нашего исследования является использование автоматического анализа изображений для описания распределения колюшки в прибрежной зоне.

Материал был собран в бухте Юшковка о. Средний Кандалакшского залива. Видеокамеры были установлены на двух станциях в устье бухты на глубине 0,7 м (от уреза воды в малую воду), и на трех станциях в вершине, формирующих разрез на глубинах -0,5 м, 0 и +0,5 м. Для фотофиксации использовались камеры интервальной съемки Brinno TLC200 Pro, которые снимали с интервалом в 5 секунд в течение 2–3 суток; в качестве видеофиксации использовались камеры GoPro 3&4, которые снимали на протяжении 1,5–2 часов. На каждой станции устанавливалось по одной камере Brinno и по одной камере GoPro.

Во время полевых работ были проведены две серии съемок. После отбора изображений, которые учитывали разнообразные условия съемки, их использовали для обучения нейронной сети YOLOv4. В дальнейшем, через нейронную сеть пропустили весь материал, который был собран с помощью камер Brinno, что позволило определить численность рыб и их размер на видеоизображениях. Поскольку длина тела рыб варьирует незначительно и составляет примерно 6 см, это позволяло определить расстояние рыбы от камеры и численность рыб в разных слоях воды. Результаты анализа показали, что количество рыб на всех станциях увеличивается во время прилива, снижается в отлив и достигает минимума в малую воду. Это свидетельствует о массовом подходе колюшки к берегу с прибывающей водой.

Направление и скорость движения рыб определялись по видеоизображениям вручную. На устьевых станциях наблюдалась максимальная плотность рыб, мигрирующих вдоль берега (в большей степени в направлении выхода из бухты). Средняя скорость движения рыб, определенная на основании 20 измерений, составляла $0,302 \pm 0,103$ км/ч, это позволяет им преодолевать расстояние от самых отдаленных друг от друга станций примерно за 16 минут.

Таким образом, в результате проведенного исследования был разработан автоматический метод определения размера и количества рыб по цифровым изображениям с помощью метода искусственного интеллекта, что позволило получить новые данные о распределении и суточных миграциях трехиглой колюшки в пределах небольшой губы Белого моря.

Проект выполняется при поддержке РНФ 22-24-00956.

Using artificial intelligence and videoregistration to study migrations of threespine stickleback in the coastal zone of the Kandalaksha Bay, White Sea

Tashbaev D.U.^{1}, Sadiekh S.A.², Ivanova T.S.¹, Ivanov M.V.¹, Lajus D.L.³*

¹ Saint Petersburg University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

³ Independent scholar

* e-mail: daniil1311970@gmail.com

Threespine stickleback now is the most numerous fish of the White Sea. To study their migrations in the coastal area, we used video registration and artificial intellect techniques. We observed clear tidal cycle in the stickleback: fish density in nearshore area increases with high tide and decreases at low tide.

Применение кальцеина для изучения роста морских и пресноводных моллюсков

Гаврилова Е.О.^{1,2*}, Аристов Д.А.^{2,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

² Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

³ Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш»

* e-mail: lizazavr2018@gmail.com

Кальцеин — флуоресцентный краситель, давно использующийся в исследованиях скорости роста животных. Он связывается с органическим кальцием, что дает возможность создания метки на растущем крае известкового скелета. Она становится видимой при освещении светом длиной волны 495 нм и позволяет зафиксировать зону роста на момент мечения. Для беспозвоночных животных высокоширотных акваторий подобная методика не применялась. Поэтому целью нашей работы стало апробировать эту методику для изучения скорости роста двустворчатых моллюсков северных широт.

Как и в предыдущем исследовании, мы наблюдали за фиксацией метки у двустворчатых моллюсков *Macoma balthica* и *Sphaerium sp.* Ранее мы выяснили, что для успешного образования меток при экспозиции в кальцеине животные должны иметь стабильные условия среды, возможность питаться и дышать, в случае роющих моллюсков — закапываться в грунт. Мы удлиннили сроки содержания моллюсков в чистой воде после мечения кальцеином. В июне 2022 г. из водоемов Шуваловского парка были собраны 60 особей *Sphaerium sp.*, 30 помещены в водный раствор кальцеина на 72 часа, оставшиеся 30 находились в чистой воде, после чего обе группы содержались в воде температурой 24 °С с июня по июль, в августе 12 °С. В июле на литорали Белого моря были собраны 60 моллюсков *M. balthica*. Тридцать из них также экспонировались в растворе кальцеина, далее находились в морской воде температурой 12 °С. При изучении под флуоресцентным микроскопом метка в виде тонкой зеленой полосы на раковине была четко видна у всех особей, содержащихся в кальцеине. У контрольной группы флуоресцентного свечения на раковине не выявлялось.

В опытной группе на раковинах моллюсков кроме флуоресцентной полосы метки выявляется зона прироста. Сравнение максимальной ширины прироста раковин маком с разностью изначальной и конечной высот створок, принятой за истинный прирост, показало различие в 10%.

Прирост раковин в высоту у *M. balthica* в среднем был равен 47 мкм за два месяца экспозиции, у шаровок — 54 мкм за три месяца экспозиции. У маком из контрольной и опытной групп не было обнаружено достоверных отличий в величине прироста, в связи с чем можно сделать вывод, что кальцеин не влияет на скорость роста животных. Таким образом, использованный нами метод изучения прироста двустворчатых моллюсков с помощью кальцеина представляется нам удовлетворительным.

Using calcein for studying the growth of marine and freshwater bivalves

Gavrilova E.^{1,2*} Aristov D.^{2,3}

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University, Saint Petersburg

² Laboratory of Marine Benthic Ecology, “Krestovsky ostrov” Ecology and Biology centrum, Saint Petersburg

³ Zoological Institute of RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”

* e-mail: lizazavr2018@gmail.com

We applied the method of making calcein marks in shells of high latitude water bodies inhabitants such as *Macoma balthica* and *Sphaerium sp.* The results of the surveys suggested that the calcein can be used for making fluorescent bands in their shells. We didn't find any differences in the growth of control and experimental groups. The average increments were 47 μm for *M. balthica* and 54 μm for *Sphaerium sp.*

Возможности круглогодичного плавания газозовов типа YAMALMAX от Сабетты до Берингова пролива

Петрова А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра геоэкологии, Санкт-Петербург
e-mail: grim.villain13@gmail.com

Основной задачей в планах развития судоходства по Северному Морскому Пути стоит обеспечение круглогодичной, быстрой и безопасной транспортировки грузов из Европы в Азию и обратно. Транзитные рейсы — это первый опыт и первые шаги к круглогодичному плаванию, поэтому информация о ледовых условиях плавания и особенностях движения судов типа Arc7 крайне важна для усовершенствования методики навигационных рекомендаций по трассам Северного Морского Пути для обеспечения безопасного и эффективного судоходства.

Анализ ледовых условий осуществлялся для четырех морей, пролегающих через СМП — Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море и Чукотское море. Для этого использовались следующие исходные данные. (1) Данные АИС (Автоматическая идентификационная система) для 14 маршрутов газозовов («Кристоф де Маржери», «Федор Литке», «Борис Вилькицкий», «Рудольф Самойлович», «Борис Давыдов», «Владимир Воронин», «Николай Евгенов», «Николай Зубов») за 2017–2021гг, содержащие информацию о местоположении судов и параметрах их движения (скорость, направление, время) на всем маршруте от начала движения из порта Сабетта и до выхода из Северного Морского пути (СМП). (2) Диспетчерские сообщения, получаемые от газозовов и ледоколов, с описанием ледовой обстановки на маршруте следования по СМП. (3) Обзорные ледовые карты ААНИИ по всем морям СМП. (4) Спутниковые изображения видимого, ИК- и радиодиапазонов.

Ледовые условия, включающие возраст льда и сплоченность, определялись по ледовым картам. Дополнительные характеристики, такие как торосистость и разрушенность, были взяты из диспетчерских сообщений с судов при их наличии или достаточном количестве для обобщения.

Спутниковые изображения привлекались для анализа аномалий скоростей. Чтобы получить снимок в инфракрасном и радиодиапазонах, была привязана мозаика радиолокационных снимков Sentinel-1. Следующим шагом было наложение маршрутов транзитных рейсов газозовов. Анализ ледовых условий плавания проводится в тех районах, где суда испытывали затруднения (имели низкие скорости).

В ходе исследования были проанализированы ледовые условия для 14 транзитных рейсов и получены данные маршрутов движения судов в летне-осенний и зимне-весенний период по трассе СМП, эти маршруты локализованы в среде QGIS. Для некоторых рейсов затруднения движения были связаны с прохождением припайной зоны либо с битого примерзшего льда со снегом в Восточно-Сибирское море, способствующие облипанию судна и снижению его скорости. В среде QGIS был создан ряд проектов с локализацией информации, необходимой для дальнейшего анализа условий ледового плавания по трассам Северного Морского пути (спутниковые снимки, ледовые карты).

Year-round sailing opportunities LNG-tankers of type Yamalmax from Sabetta to Bering Strait

Petrova A.

Saint Petersburg University, Department of Geoecology, Saint Petersburg
e-mail: grim.villain13@gmail.com

The research covers conditions of ice navigation of fourteen Arc7 class routes along the Northern Sea Route. We are given the calculations of time inputs results, traffic average speeds and concomitant ice conditions.

Изотопные ($\delta^{18}\text{O}$, δD) параметры вод глубоководных желобов Карского моря

Наконечная А.С.^{1*}, Дубинина Е.О.²

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

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

* e-mail: alya_nakonechnaya@mail.ru

Данная работа посвящена изучению морских вод в зоне глубоководных желобов Святой Анны и Воронина, расположенных в северо-восточной части Карского моря, с помощью методов изотопной геохимии кислорода и водорода. Целью работы является изучение процессов, которые протекают в водах в зоне глубоководных желобов.

Материал для исследований был отобран в 2015 и 2016 гг. в ходе 63-го и 66-го арктических рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш». Было отобрано пять проб воды для желоба Святой Анны и восемь проб для желоба Воронина.

Изотопный анализ кислорода проведен на приборном комплексе DELTA V+ с использованием опции GasBench II в режиме постоянного потока гелия. Изотопный анализ водорода проведен методом DI IRMS с использованием масс-спектрометра DELTAplus. Точность определения величин $\delta^{18}\text{O}$ и δD составила $\pm 0,05$ и $\pm 0,3$ ‰ соответственно.

Величины $\delta^{18}\text{O}$ и δD в водах желобов Святой Анны и Воронина показывают поведение, аналогичное солёности, что закономерно, так как они являются консервативными параметрами. В целом, эти величины возрастают с глубиной. В поверхностном слое (глубина 0–4 м для желоба Святой Анны и 0–18 м для желоба Воронина) солёность вод снижена по сравнению со средней солёностью атлантических вод, циркулирующих в Баренцевом море ($S = 34,90$ е.п.с.). Величины $\delta^{18}\text{O}$ и δD в данных поверхностных водах также являются пониженными и указывают на двухкомпонентное смешение модифицированных атлантических вод, поступающих из Баренцева моря с эстуарными водами Енисея и Оби.

Кроме опреснения морских вод, отмечающегося в падении солёности и величин $\delta^{18}\text{O}$ и δD , на всех изученных станциях обоих желобов наблюдается нарушение линейной зависимости S - $\delta^{18}\text{O}$ и S - δD , что говорит о нарушении простого двухкомпонентного смешения. Данные отклонения могут быть результатом проявления процессов формирования и таяния льда.

Isotope parameters ($\delta^{18}\text{O}$, δD) of waters in the deep-water troughs of the Kara Sea

Nakonechnaya A.^{1*}, Dubinina E.²

¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, UNESCO Chair “Green Chemistry for Sustainable Development”, Moscow

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Moscow

* e-mail: alya_nakonechnaya@mail.ru

Seawaters of the St. Anna and Voronin deep-water troughs were by the methods of oxygen and hydrogen isotope geochemistry. The behavior of isotopic parameters ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) and salinity is determined by the intensity of continental flow, as well as ice formation and melting for waters in the studied troughs.

Перспективы нефтеносности отложений мезозойского возраста на Гыданском полуострове по результатам 1D моделирования

Денисов А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра нефтегазового дела, Санкт-Петербург
e-mail: AnDenisov2002@yandex.ru

Для дальнейшего развития нефтяной промышленности необходимо вовлекать новые запасы нефти и газа. Многие крупные месторождения РФ находятся на финальной стадии разработки с круто падающей добычей. В связи с этим вопрос вовлечения новых запасов в разработку, в том числе трудноизвлекаемых (ТРИЗ), не теряет своей актуальности. По подсчетам экспертов потенциал вовлечения ТРИЗ в добычу составляет 200 млн тонн в год, что равносильно открытию нескольких крупных месторождений.

Для изучения перспектив нефтегазосности была выбрана Гыданская нефтегазоносная область (НГО), расположенная в северной части Западно-Сибирской плиты. Особенности геологического строения этого региона позволили сформироваться таким месторождениям как Антипаютинское и Находкинское. Чтобы спрогнозировать в пределах упомянутой зоны наличие новых месторождений, было проведено 1D моделирование в программе Petrel на данных Восточно-Мессояхского месторождения.

Анализ геологического строения Восточно-Мессояхского месторождения позволяет говорить о том, что одной из главных его особенностей является многоярусное строение, которое способствовало накоплению углеводородов в коллекторах Мессояхского порога. Нефтематеринские породы выделяются в объеме Гольчихинской свиты верхнеюрского возраста. Ее характеристики, в том числе тип органического вещества и кинетическая модель, установлены по литературным данным. В модели задается стратиграфическая последовательность слоев, для чего была детально изучена литология свит. Кроме стратиграфии указываются граничные условия, включающие в себя таблицу с указанием палеоглубин, при интерпретации которых проведен комплексный анализ литолого-фациальных характеристик юрско-меловых отложений. Для этого использованы классификации из работ Г.-Э. Рейнека, И.Б. Сингха и С.Б. Шишлова.

В процессе моделирования построены два графика погружения толщ. По ним установлены моменты быстрого погружения слоев, в ходе которых происходила генерация углеводородов. Также определено время формирования Гольчихинской нефтематеринской толщи (НМТ) и момент начала генерации углеводородов. Графики изменения температуры и коэффициента трансформации для подошвы Гольчихинской НМТ позволили уточнить время, в течение которого толща продуцировала углеводороды.

В результате 1D моделирования выделены семь резервуаров, хотя действительный потенциал месторождения намного выше. Это подтверждает вывод в работе Гаврилова (2012), который исследовал Ханты-Мансийскую зону сжатия и писал о высоком нефтегазоносном потенциале этой территории. Таким образом, в пределах упомянутой зоны возможно наличие газонефтяных месторождений, что говорит о высоком потенциале Гыданской НГО. Открытие нескольких крупных месторождений обеспечит регион нефтью в течение 2,5–3 лет.

Исследования проводились при поддержке кандидата геолого-минералогических наук, старшего преподавателя СПбГУ Ткаченко Максима Александровича.

Potential of the Mesozoic deposits of the Gydan oil and gas region based on the results of 1D modeling

Denisov A.

Saint Petersburg University, Saint Petersburg
e-mail: AnDenisov2002@yandex.ru

In the Petrel program, the time of hydrocarbon generation was specified. The *Corg* values for the *Golchikha oil source stratum*, as well as the temperature gradient and hydrostatic pressure, are calculated. The obtained values are correlated with the literature data. A conclusion is made about the resource potential of region.

Типы берегов полуострова Киндо (Кандалакшский залив Белого моря)

Смирнова В.В., Батаев Ю.В., Иоч М.Э., Луговой Н.Н.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Москва

*e-mail: smirnova_veronika_01@bk.ru

Берега полуострова Киндо, расположенного в Кандалакшском заливе Белого моря и омываемого с севера Ругозерской губой, а с юга губой Кислой, своей генеральной конфигурацией обязаны блоково-разломной тектонике окраины Балтийского щита совместно с экзарационной деятельностью покровного ледника. По результатам вдольбереговых обследований в окрестностях Беломорской биологической станции (ББС) МГУ выделены наиболее характерные типы берегов полуострова Киндо. Средняя высота приливно-отливных колебаний – 2 м. Осушные берега распространены повсеместно и могут быть подразделены на несколько подтипов в соответствии с тенденциями их литодинамики.

30% от длины береговой линии, составляющей 23,8 км, представлено осушными стабильными берегами, находящимися в равновесии между процессами размыва и аккумуляции. Поверхность верхнего уровня осушки, примыкающего к тыловому шву уступа луговой террасы, сложена средне-мелкозернистыми песками и покрыта галюфитной растительностью. Отложения нижнего уровня имеют более тонкозернистый состав. На уровне квадратурных отливов выражен валунный пояс.

В верхней части профиля осушного преимущественно аккумулятивного берега (7,9%) находится прислоненный пляж шириной 3–8 (до 18) м. Осушка сложена существенно опесчаненным илистым материалом. На фронтальном скате приуроченных к бухтам пляжей нередко отмечается дифференциация наносов по гидравлической крупности, представленная шлихами гранатовых, биотитовых песков. В кутах узких заливов и полузакрытых акваториях на алевро-глинистых торрентогенных отложениях формируются марши (13,1%). Они могут образовывать сомкнутый покров или быть разорванными припайным льдом на разрозненные кочки. На берегах бухт отмечаются ледово-напорные валы высотой до 1 м.

Осушной абразионный тип широко представлен в окрестностях ББС (26,5%). Активные уступы размыва и волноприбойные ниши встречаются редко, поскольку ветровое волнение имеет небольшой разгон и в течение значительной части года гасится морским льдом. Разрушение берега и вынос материала происходит под действием приливных течений. Высота клифов на мысах достигает 2,5 м, у их подножия обычно находится неширокая отмостка из валунов, выпадающих из уступа по мере его отступления и притягиваемых льдом. Валунные отмостки без уступа размыва особенно широко представлены на южной стороне полуострова.

Берег с абразионно-аккумулятивным профилем (2,9%) обладает признаками перемещения наносов волнового поля из нижней части профиля в верхнюю: валунная отмостка примыкает здесь к узкому крутоскатному пляжу.

Образованные в прочных кристаллических породах первично-тектонические (2%) уступы высотой до 30 м встречаются на северо-восточном фланге бухты Биофильтров. Они практически не поддаются волновой обработке (за исключением селективной абразии по телам биотитовых меланосом), и их разрушение связано в первую очередь с морозным выветриванием.

Таким образом, главными агентами, определяющими рельеф берегов п-ва Киндо, являются приливно-отливная деятельность и морской лед.

Coast types of the Kindo Peninsula (Kandalaksha Bay of the White Sea)

*Smirnova V. *, Bataev Yu., Jocz M., Lugovoy N.*

Lomonosov Moscow State University, Department of Geomorphology and Paleogeography, Moscow

* e-mail: smirnova_veronika_01@bk.ru

Based on the results of field route observations on the Kindo Peninsula (Kandalaksha Bay), a map showing types of coasts has been compiled. Coastal morphology is determined mainly by tides and sea ice. Seven subtypes of tidal flats were identified. Depending on the exposure of the coastline, signs of erosion or accumulation prevail.

Пространственная изменчивость потоков метана с поверхности мелководных бореальных озер

*Прасолов С.Д. *, Забелина С.А., Климов С.И., Чупаков А.В.*

ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова
УрО РАН, Архангельск

* e-mail: sergeyprasolov1@gmail.com

Бореальные озера вносят значительный вклад в эмиссии парниковых газов (ПГ) в атмосферу, в частности метана (CH₄), что подтверждается исследованиями последних десятилетий. Потоки ПГ с поверхности озер Европейского Севера России являются малоизученными, существует нехватка достоверных данных об их пространственно-временной изменчивости, что не позволяет корректно оценить региональные значения эмиссий и вносит неопределенность в глобальные оценки.

В настоящей работе представлены результаты исследований в весенний и летний периоды 2022 года внутриболотных мелководных озер Иласское и Северное, расположенных в Иласском болотном массиве в 20 км от Архангельска, с целью получения данных о пространственной изменчивости потоков метана с их поверхности. Озера различаются площадью, характеризуются низкими значениями рН и минерализации. Предыдущие исследования глубоких озер Архангельской области, показывают, что значения потоков в пределах одного водоема могут иметь значительную пространственную неоднородность (до 75–85%), обусловленную особенностями морфометрии и биотопов озера.

Диффузионный потока метана рассчитывался по модели приграничного слоя (boundary layer model), как произведение градиента концентрации на границе раздела сред (разница между концентрацией метана в поверхностном слое воды и равновесной с атмосферой, рассчитываемой для данных условий) и скорости газообмена k , полученной по модели Cole & Sagaco, 1998, исходя из скорости ветра. Для определения концентраций, в трех точках акватории отбирались пробы воды на глубине 1 м, которые затем анализировались на лабораторном газовом хроматографе.

Расчетные потоки, полученные в данном исследовании, сравнимы с таковыми для озер Скандинавии. Изменчивость потоков между районами пробоотбора в пределах одного озера варьировалась в пределах 15–20% в мае для обоих озер и оз. Северное в августе. Изменчивость в оз. Иласское в августе достигала 89%.

Расчет общей эмиссии с зеркала озера показывает, что пространственная неоднородность вносит значительную неопределенность в конечный результат. Значения, полученные по одной точке, отличаются от рассчитанных с учетом изменчивости на 10–30% (70–126% по августовским потокам с оз. Иласское, что обуславливается высокой изменчивостью потока в разных частях акватории).

Работа выполняется при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-27-00828.

Spatial variability of methane fluxes from the surface of shallow boreal lakes

*Prasolov S. *, Zabelina S., Klimov S., Chupakov A.*

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of RAS, Arkhangelsk

* e-mail: sergeyprasolov1@gmail.com

This work is devoted to the results of studies of methane fluxes from the surface of shallow boreal lakes. It is shown that the fluxes within one lake can have significant spatial variability, which introduces significant uncertainty in the estimate of methane emission from the lake.

Микроклиматические особенности лета 2022 г. для губы Кереть Белого моря

*Чea C. *, Смагин P. E.*

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

* e-mail: cheasokkoch@gmail.com

Остров Средний является одним из островов Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря. Он находится перед входом в губу Кереть; проливом Узкая Салма на юге остров отделен от материкового массива, а проливом Средняя Салма — от о. Горельий. Восточной стороной о. Средний обращен к открытому морю.

Данная область лежит в зоне перехода от умеренного континентального к субарктическому морскому климату. Летняя погода здесь часто оказывается неустойчивой, что обусловлено динамикой доминирующих континентальных или морских воздушных масс. Лесистость и неоднородный рельеф острова сказываются на микроклиматических особенностях, которые хорошо выражены в летний сезон. Площадка для микроклиматических наблюдений располагалась в 30–35 м от воды, в укрытой от ветров, дующих с моря, низменной части острова, а цикл измерений охватывал два периода: с 21.06.2022 по 30.06.2022 и с 16.07.2022 г. по 03.08.2022 г.

Выбор места наблюдений оказался удачным, так как резче всего микроклиматические различия проявляются в ясную тихую погоду, в то время как ветренные условия усиливают турбулентное перемешивание воздуха в приземном слое, снижая большие градиенты температуры и влажности воздуха. В результате, положительные значения турбулентного потока тепла были зафиксированы в дневное время, за исключением дней с глубоким циклоном, а максимум составил (+0,13–0,39 кал/см²мин) наблюдался в наиболее в теплые и малооблачные дни. Отрицательные значения (–0,03–0,08 кал/см²мин) были приурочены к вечерне-ночному времени. При наличии сплошной облачности, повышении скорости ветра и выпадении осадков значения турбулентного потока были в пределах –0,01–0,02 кал/см²мин. Наибольшие положительные значения затрат тепла на испарение (+0,25–0,39 кал/см²мин) были зафиксированы лишь в теплые облачные дни, при слабом ветре и понижении влажности воздуха, а также при сплошной облачности. В теплые, но малооблачные дни и при слабом ветре наблюдались отрицательные значения затрат тепла на испарение (до –0,70–1,28 кал/см²мин). В ночное время происходило выхолаживание и при высокой относительной влажности воздуха затраты тепла на испарение приближались к нулю.

Для данного места можно считать, что высокая скальная гряда частично прикрывает этот район острова от восточных ветров, что создает благоприятные условия для произрастания луговой и кустарниковой растительности.

Работа выполнена в рамках Инициативного проекта СПбГУ «Проливы Керетского архипелага Белого моря: сезонные особенности водообмена».

Microclimatic features of the summer of 2022 for the Keret bay of the White Sea

*Chea S. *, Smagin R.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

* e-mail: cheasokkoch@gmail.com

Forests and heterogeneous relief of Sredny Island, affect the microclimatic features, which are well expressed in the summer. The experimental place was located near the water. High rocky ridge partially covers this low-lying area from the east winds, which creates favorable conditions for the growth of meadow and shrub vegetation.

Новые данные о развитии природной среды Кандалакшского берега Белого моря в позднеледниковье–голоцене

Писцова М.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва
e-mail: pistsovama@my.msu.ru

Беломорский регион, с точки зрения истории развития флоры и фауны, является молодым бассейном, возраст которого оценивается 13 тыс. лет. Судя по имеющимся источникам, именно тогда морские воды начали проникать в Кандалакшский залив (Наумов, 2006; Колька, Корсакова, 2017).

Побережье Кандалакшского залива активно поднималось в конце плейстоцена — раннем голоцене, после чего скорости поднятия несколько снижались (Колька, Корсакова, 2017), и теперь отложения, сформированные в пределах морского бассейна, являются богатыми и доступными палеоархивами.

Одним из ключевых объектов можно считать разрез, расположенный в окрестностях с. Колвица, где обнаружено единичное скопление малакофауны (*Mytilus edulis*), приподнятое на абсолютную высоту 41 м. Возраст местонахождения составляет около 9400 калиброванных л.н (Зарецкая, Хайтов, 2022).

В 2022 году в ходе полевых работ из слоя с остатками малакофауны взято три образца на диатомовый анализ. Предполагается, что по составу диатомовых ассоциаций можно проследить тренд изменений условий в бассейне, синхронных с накоплением этой толщи.

Анализ проведен автором в Лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН. Препараты подготовлены по стандартной методике (Batarbee et al., 2001), в ходе которой образцы естественной влажности массой 2 гр. обработаны 10% HCl для удаления карбонатов и 37% H₂O₂ для очистки от органики. Глинистая фракция удалена с помощью отмучивания (естественным осаждением). Далее образцы прошли двойную плотностную сепарацию в тяжелой жидкости ГПС-В плотностью 2,3 г/см³. Препарат для светового микрофотографирования изготовлен с применением смолы NAPHRAX.

Установление таксономической принадлежности проводилось с помощью определителей (Куликовский и др., 2016; Kramer, Lange-Bertalot, 2001). Уточнение современных названий видов выполнялось с помощью AlgaeBase (Guiry, Guiry 2022). Всего в трех образцах определено 2076 створок, отнесенных к 46 видам (species) и разновидностям (varietas). В основном, это бореальные виды и космополиты.

В составе диатомовых ассоциаций ярко преобладают бентосные виды, что говорит о малых глубинах на рассматриваемом участке, что в комплексе с представлениями о предпочтениях *Mytilus edulis* указывает на условия литорали. Количество бентосных диатомей возрастает вверх по слою.

С точки зрения солености во всех пробах доминируют полигалобы и мезогалобы, их процент растет вверх по слою, причем, в основном, за счет морских видов. Количество индифферентов значительно (25%) в нижней части толщи, выше оно снижается. Видимо, начало формирования слоя с малакофауной совпадает со сменой условий в бассейне, а уже в процессе его накопления обозначается тренд на повышение солености.

Проект выполняется при поддержке РНФ (проект № 22-17-00081 (А.Е. Рыбалко)).

New data on the Late Glacial-Holocene environmental change of the Kandalaksha coast of the White Sea

Pistsova M.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow
e-mail: pistsovama@my.msu.ru

We studied the sedimentary column of Late Glacial-Holocene near the Kolvitsa, where other researchers had discovered the malacofauna remains. Using diatom analysis, it was found that the formation of sediments occurred in shallow water conditions, during an increase in salinity, which was preceded by a fundamental change in basin environment.

Комплексная океанологическая съемка в проливах Керетского архипелага летом 2022 года

*Лебедева М.А. *, Смагин Р.Е., Петросян Н.В.*

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

* e-mail: lebedevamasha671@gmail.com

Район исследования — устьевая область реки Кереть, в пределах которой расположены острова Средний и Малый Горелый, неглубокие проливы Средняя Салма, Сухая Салма, Подпахта, Большой Керетский рейд и заливы (бухта Наговица, губа Лебяжья). По мере удаления от устья, пресные речные воды смешиваются с солеными морскими и становятся ближе к морским по своим параметрам. Целью исследования являлся анализ характеристик, свойственных водам, распространяющимся из устья реки Кереть по проливам между островами Керетского архипелага.

В работе были проанализированы натурные данные, полученные с помощью отбора проб с поверхности на полигоне, состоящем из пятнадцати точек. Станции были выполнены 21.07.2022г. в губе Кереть и ее окрестностях. Работы производились во время прилива. Полученные данные характеризуют пространственное распределение не только температуры, солености, кислорода и прозрачности воды, но также желтого вещества и кремния в поверхностном слое. Желтое вещество и кремний — параметры, которые могут служить надежными трассерами для вод речного происхождения.

Анализ данных показал, что во время прилива морские воды распространяются через проливы Узкая Салма, Средняя Салма и Подпахта, не доходя до устья реки Кереть. В целом, распределение рассматриваемых параметров соответствует общим представлениям о распространении морских и речных вод по акватории: по мере отдаления от устья реки Кереть, соленость повышается, а содержание кремния и желтого вещества становится меньше. Однако в губе Лебяжья воды на поверхности характеризуются повышенной соленостью и пониженным содержанием кремния и желтого вещества, что позволяет делать вывод о доминировании вод морского происхождения. Возможно, воды, проникающие в губу Лебяжья с приливом из мористой части, задерживаются в ней на некоторое время. Объяснить это можно тем, что в губе Лебяжья наблюдается слабый водообмен с устьем реки Кереть, и во время отлива воды не успевают обновиться.

Работа выполнена в рамках Инициативного проекта СПбГУ «Проливы Керетского архипелага Белого моря: сезонные особенности водообмена».

The complex oceanographic survey in the straits of the Keret archipelago in the summer of 2022

*Lebedeva M. *, Smagin R., Petrosyan N.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

* e-mail: lebedevamasha671@gmail.com

We studied the distribution of oceanographical parameters of water masses spreading from the estuary of the river Keret. Such parameters as the silicon content and the concentration of CDOM were considered as they are reliable tracers for water masses of the river genesis. In addition, salinity, oxygen content and water transparency were measured.

Исследование залива морских вод в лагуну Колушковая (с использованием неконтактных методов)

*Маховиков А.Д. *, Смагин Р.Е.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург
* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

Лагуна Колушковая и пролив Сухая Салма — смежные водоемы с сложным водообменом и располагаются неподалеку от губы Кереть (Кандалакшский залив, Белое море). Лагуна является полуизолированной приливной акваторией, которая активно посещается популяцией трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*, играющей существенную роль в питании прибрежных рыб в летний период и являющейся важной частью морской экосистемы (Демчук А. С. и др, 2018). Исследования летней гидрологической структуры в системе лагуна Колушковая — пролив Сухая Салма ведутся кафедрой океанологии с 2017г. Установлено, что залива вод в лагуну происходят не постоянно, а при определенных условиях. В основном, морская вода попадает в лагуну при сизигийных условиях, при высоких полных водах. При этом гидрофизические свойства воды в лагуне изменяются. Так, в июне 2022г. было выявлено, что до нового залива вод температура и соленость в поверхностном слое пролива Сухая Салма составляла около 11 °С и 21,5‰, а в лагуне — около 13 °С и 22‰. Заток вод произошел в конце фазы прилива (рост уровня наблюдался в течение 1,5–2 часов и составил +29 см). После залива значения температуры и солености в лагуне заметно изменились и составили 11 °С и 21‰, т.е. произошло небольшое разбавление вод в лагуне.

01.08.2022 г. для построения точной карты береговой линии лагуны была предпринята аэрофотосъемка с помощью БВС «Геоскан-101». В июне 2022 г. было подтверждено, что заток лагуны происходит только во время сизигийного прилива. Заток вод начинается примерно через 4 часа после начала подъема уровня воды в море, максимальный уровень воды в лагуне наступает примерно через 0,5 часа после наступления полной воды в море. Таким образом, благодаря данным измерениям было установлено время аэрофотосъемки для построения цифровых моделей местности на момент залива и момент максимального уровня воды в лагуне. Данная аэрофотосъемка (при помощи современного оборудования была снята большая часть острова Средний и акватории Сухой Салмы) выполнена впервые в истории беломорской учебно-научной базы СПбГУ.

Работа выполнена в рамках Инициативного проекта СПбГУ «Проливы Керетского архипелага Белого моря: сезонные особенности водообмена». Авторы благодарят сотрудников кафедры картографии и геоинформатики С. Горлышеву и Д. Бляхарского за техническую помощь в осуществлении эксперимента.

Investigation of seawater inflow into the lagoon "Kolushkovaya" (using non-contact methods)

*Makhovikov A. *, Smagin R.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg
* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

We studied the inflow of water into the lagoon and determined the conditions when it happens. Then, in August 2022, we conducted two aerial photographs: at the time of water inflow and at the time of maximum sea level. This could reveal that the flow of water and the change of the coastline occurs as the flow from the sea to the lagoon increases.

Гидрофронты в губе Кереть

*Яснопольская А.Д. *, Маховиков А.Д., Смагин Р.Е.*

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

* e-mail: alexa.yasn@yandex.ru

Фронтальные разделы являются одними из важных особенностей устьевых областей рек. Данный термин подразумевает под собой наклонную поверхность с максимальными горизонтальными и вертикальными градиентами солёности воды. Проекцию фронтального раздела на поверхность воды называют гидрофронтом (Михайлов, Добролюбов, 2017).

В губе Кереть, которая является частью устьевой области реки Кереть, наблюдаются воды с различными свойствами. Это морские (с солёностью 24–26‰, с температурой 15–20 °С), речные и распреснённые (от 1–2 до 23–24‰, с температурой 17–23 °С). Их взаимодействие происходит при участии приливных факторов и ветрового перемешивания. В разные сезоны, вследствие изменения величин расхода, на этот процесс оказывает влияние речной сток. Для реки Кереть началу летнего сезона (июнь) соответствует период конца половодья с повышенными величинами расхода, а середине и концу лета (июль-первая половина августа) — летняя межень, когда расход сокращается.

По результатам океанологической съёмки, проведенной в губе Кереть, в июле 2022 г. (начало фазы прилива), выявлено характерное распределение вод различного происхождения, разделённых гидрофронтами. Один из них располагается в узкой части пролива Средняя Салма (между островом Большой Горелый и островом Средний, на выходе в море), другой — между островом Большой Горелый и материком (у южного входа в пролив Подпахта). Они ограничивают распреснённые поверхностные воды губы Кереть от морских вод. Горизонтальные градиенты температуры и солёности в сторону открытого моря составили $-0,004^{\circ}\text{C}/\text{м}$ и $+0,02\text{‰}/\text{м}$, однако реальные градиенты могут быть в десятки раз выше и достигать $-0,05^{\circ}\text{C}/\text{м}$ и $+0,2\text{‰}/\text{м}$ при более близком расположении станций во время океанологической съёмки.

Однако, гидрофронты выражены не только на поверхности, но и на глубинах. Например, в слое 2–2,5 м, в поле плотности наблюдаются глубинные проявления гидрофронтонтов, но они обнаруживаются уже не только в вышеуказанных проливах, но и у северного входа в пролив Подпахта ($1016 \text{ кг}/\text{м}^3$ в проливе Подпахта, $1012 \text{ кг}/\text{м}^3$ со стороны пролива Сухая Салма). Ещё глубже (слой 5 м) выявлен ещё один гидрофронт: между проливом Подпахта и губой Лебяжья. В этой губе в начале фазы прилива доминируют менее плотные воды (около $1013 \text{ кг}/\text{м}^3$), но внутрь губы начинается заток холодных плотных вод из пролива Подпахта ($1015\text{--}1016 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Работа выполнена в рамках Инициативного проекта СПбГУ «Проливы Керетского архипелага Белого моря: сезонные особенности водообмена».

Hydrofronts in the Keret bay

*Yasnopolskaya A. *, Makhovikov A., Smagin R.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

* e-mail: alexa.yasn@yandex.ru

Due to the large spatial oceanological measurements, several fronts separating the desalinated waters and sea waters in the estuary of the Keret river have been identified.

Biogeochemical and micromorphological features of cryoconites sampled from the Bezengi Glacier, alpine zone of the Central Caucasus

Kushnov I.^{1}, Tembotov R.²*

¹ Saint Petersburg University, Department of Applied Ecology, Saint Petersburg

² A.K. Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of 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 cryoconite. Cryoconite is a dark-colored sediment which may be found at the supraglacial zone of glacier. It may significantly accelerate glacier melting as well as affect local biogeochemical cycles and play crucial role in development of primary soils. Study of micromorphological structure of cryoconites is important in terms of mechanical stability of engineering facilities in this region as well as in understanding the role of minerals as sources of nutrients for periglacial soils in adjacent areas.

The area of our research is located in the Central Caucasus region where the most of the highest peaks of the Caucasus Mountain range are located. We studied cryoconites from the Bezengi glacier, the biggest valley glacier at the Caucasus Mountain region. Several biogeochemical features have been studied such as pH values (by pH-meter in solution), content of total organic carbon (TOC) by Tyurin method and basal respiration values (which indicate microbiological activity) in incubation experiment (). Micromorphological features have been studied at the prepared micro monoliths with polarization microscope Leica DM 750P in crossed Nicol prisms and transmitted light.

In most of cases pH values showed neutral values of acidity or close to it. Among cryoconites sample from the crack as well as samples from cryoconite holes show slightly acidic reaction which may be associated with presence of silt fraction or diverse mineralogical composition which increase an absorptive capacity for hydrogen ions in acidic soils, thereby acidifying the soil solution (Seredina et al., 2009). All cryoconites showed low values of TOC (max. 0.23%) which were slightly higher on the surface of the glacier and may indicate its transfer to adjacent territories. Basal respiration values among cryoconites were high, reaching peak values in samples from cryoconite holes (up to 26.29 mg CO₂/100 g*day), indicating high microbial activity on the glacier surface which may further play role in colonization of primary soils.

Micromorphological structure of the cryoconite showed presence of mechanically transformed large fragments of quartz and feldspar. Pyroclastic inclusions also were observed in quartz. Mica inclusions were observed in feldspar and were also presented as a small separate fragments. Weathering rate was weak, mostly represented by the physical type. No biogenic conglomerates or organic remains have been observed. Fractures were not abundant indicating low degree of cryodegradation.

The authors are sincerely grateful to Prof. Dr. E. Abakumov for his help in carrying out the research and verifying the results. This work was supported by RFBR Grant No. 19-05-50107, "Role of organic carbon microparticles in the degradation of polar ice sheets and in the formation of soil-like bodies".

Фитопланктон стратифицированного озера Еловое, отшнуровавшегося от Белого моря, в 2021 г.

Иванова Д.А.^{1*}, Краснова Е.Д.², Воронов Д.А.³, Радченко И.Г.¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра общей экологии и гидробиологии, Москва

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова

³ Институт проблем передачи информации РАН им. А.А. Харкевича, Москва

* e-mail: da.ivanova99@yandex.ru

На побережье Белого моря в результате послеледникового поднятия земной коры многие заливы отделяются от моря и превращаются в меромиктические озера с развитием отдельных сообществ фитопланктона в разных слоях. Один из таких водоемов — озеро Еловое (66°28'53" с.ш., 33°16'50" в.д.) — остается стратифицированным в течение всего года с нижним сероводородным слоем. Сведений по развитию и распределению фитопланктона меромиктических озер мало, что определило изучение вертикальной и сезонной динамики фитопланктона озера Еловое летом 2021 г.

Для исследования фитопланктона отбирали пробы воды объемом до 1 л с помощью погружного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 с разных горизонтов до границы с сероводородной зоной. Пробы фиксировали формалином с конечной концентрацией 2% и концентрировали методом обратной фильтрации. Клетки водорослей просчитывали в камере Нажотта на микроскопе МИКМЕД-6 при увеличении ×200 и ×400 в трех повторностях. Для расчета углеродной биомассы (B_C , мгС/м³) объемы клеток определяли методом геометрического подобия (Hillebrand et al., 1999) с последующим переводом в единицы углерода (Menden-Deuer, Lessard, 2000). Современную классификацию водорослей приводили по электронной базе данных <https://www.algaebase.org/>.

В период исследований с 30 мая по 24 августа 2021 г. было обнаружено 60 видов фитопланктона, принадлежащих 12 классам: Bacillariophyceae (15 видов), Coscinodiscophyceae (6), Mediophyceae (1), Dinophyceae (11), Oxyrrhodophyceae (1), Chlorophyceae (8), Trebouxiophyceae (2), Zygnematophyceae (4), Chrysophyceae (1), Cyanophyceae (9), Euglenophyceae (1), Cryptophyceae (1).

B_C поверхностного опресненного слоя варьировала в течение вегетационного сезона водорослей, достигая наибольших значений в середине июля (5,38 мгС/м³), когда развивались диатомеи *Tabellaria fenestrata*, *Leptocylindrus minimus* и динофлагелляты *Gymnodinium* cf. *aureolum*, *Peridinium umbonatum*. Для нижележащего аэробного слоя с соленостью, близкой к морской, наибольшие значения B_C (4,72 и 5,04 мгС/м³ для 1,5 м и 2,5 м соответственно) отмечены в начале лета и связаны с развитием динофлагеллят *Proto-peridinium pellucidum*, *P. brevipes*, *Scrippsiella trochoidea* и *Amphidinium crassum*, а также диатомей *Melosira nummuloides* и *Gyrosigma obscurum*. В зоне хемоклина в массе развивались динофлагелляты *Oxyrrhis marina*, *A. crassum* и неидентифицированная эвгленовая водоросль, определяя максимальные из оцененных для всех горизонтов значений B_C (17,69–219,09 мгС/м³).

Таким образом, на разных горизонтах озера Еловое летом 2021 г. развивались сообщества водорослей с доминированием разных видов. Наибольшую биомассу достигали водоросли в зоне хемоклина.

Phytoplankton of the stratified lake Elovoe, separated from the White Sea, in 2021

Ivanova D.^{1*}, Krasnova E.², Voronov D.³, Radchenko I.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Department of General Ecology and Hydrobiology, Moscow

² Lomonosov Moscow State University, Pertsov White Sea Biological Station

³ Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow

* e-mail: da.ivanova99@yandex.ru

This work presents data on the composition and abundance of the phytoplankton in the coastal stratified lake Elovoe (Karelian Coast of the White Sea). Seasonal dynamics and vertical structure of the phytoplankton were monitored from May 30 to August 24, 2021.

Эколого-биологическая характеристика *Verbascum nigrum* L. на северной границе ареала

Васюта В.С.

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск
e-mail: nikusha.2001@yandex.ru

Флора Карелии представлена видами разных географических элементов. В составе флоры республики большую долю составляют виды редкие и нуждающиеся в различных формах охраны. К таким видам относится *Verbascum nigrum* L. произрастающий в Карелии у северной границы своего ареала в луговых фитоценозах. В последние десятилетия отмечена тенденция деградации лугов в результате их зарастания древесными видами растений и процессов естественного заболачивания (Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия, 2017, 2019, 2020, 2021). В результате наблюдающейся деградации лугов вполне ожидаема деградация и луговых видов, а наибольшая опасность грозит уязвимым видам — редким и находящимся на границах ареалов. *Verbascum nigrum* L. — Коровяк черный из семейства Scrophulariaceae (Норичниковые). Монокарпическое, реже поликарпическое стержнекорневое травянистое растение с прямостоячим олиственным стеблем и соцветием верхушечная многоцветковая кисть.

Работа выполнялась маршрутным методом на территории музея-заповедника «Кижь», для проведения наземных исследований предварительно был собран картографический материал (космоснимки). По карте был намечен предварительный маршрут обследования, при наземном обследовании территории были выявлены места произрастания *V. nigrum*. На каждой пробной площади были проведены геоботанические описания фитоценозов по общепринятой методике. Ценопопуляционный анализ на данном этапе включал определение численности ценопопуляций, экологической плотности особей и их мощности.

В результате проведенных маршрутных исследований на острове Кижь *V. nigrum* обнаружен вдоль восточного берега острова в составе двух луговых фитоценозов, в которых заложены две пробные площади с учетными площадками. Общая площадь, занимаемая ценопопуляциями (ЦП1 и ЦП2) в границах распределения особей *V. nigrum* в пределах фитоценоза на пробных площадях составила 7400 м² (ПП1) и 2550 м² (ПП2). Общий флористический состав двух изученных фитоценозов с участием *V. nigrum* включает 50 видов сосудистых растений. Более богатым по видовому составу является фитоценоз на ПП1, в котором произрастает 46 видов сосудистых растений, в то время как на ПП2 зафиксировано 31, общих видов — 27. Ценопопуляции *V. nigrum* отличались по численности и экологической плотности особей. Из полученных данных следует, что численность ЦП1 составила 264, а ЦП2 — 92 особи, при этом экологическая плотность практически одинакова. В обеих ЦП преобладали вегетативные особи в соотношении 1:2. По размерным характеристикам особей (по высоте генеративных растений) можно отметить, что они были более высокие в ЦП1, чем в ЦП2 на 0,5 см.

Ecological and biological characteristics of *Verbascum nigrum* L. on the northern border

of the range

Vasyuta V.

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk
e-mail: nikusha.2001@yandex.ru

The state of cenopopulations of *Verbascum nigrum* L., on the northern border of the range, was assessed. Two cenopopulations were studied on the territory of the Kizhi Museum-Reserve. A great similarity of the floras of the studied phytocenoses was noted. The number of cenopopulations is 264 and 92 individuals, the ecological density is 0.36 individuals/m², generative individuals predominated.

Участие галофитов в обмене железа на литорали Белого моря

Павлова М.А.

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

Галофиты произрастают на литорали Белого моря повсеместно. Эти растения находятся в приливно-отливной зоне: ежедневно они подвергаются полному заливанию и проводят до 8 часов в сутки под морской водой. Эти условия уникальны и требуют от растений способностей к быстрой адаптации к нестабильному уровню кислорода в среде.

Исследование проводилось на литорали Белого моря в районе д. Растьнаволок (окрестности г. Беломорск), п. Кереть и п. Рабочеостровск (2018–2020 гг.) Предметами исследования выбраны типичные галофиты литорали — подорожник морской (*Plantago maritima* L.), триостренник морской (*Triglochin maritima* L.), астра солончаковая (*Aster tripolium* L.), zostера морская (*Zostera marina* L.).

Содержание железа в почве, воде и растениях определяли атомно-абсорбционным методом на оборудовании Центра коллективного пользования Карельского научного центра РАН. Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывали как отношение содержания железа в растении к сумме его содержанию в воде и грунте.

Анализ морской воды показал, что она загрязнена железом (~0,32 мг/л), почва на литорали содержит железо в допустимых концентрациях (~16 г/кг). Содержание железа в растениях значительно превысило допустимые концентрации: триостренник морской накапливал целым растением в среднем 36 г/кг, подорожник морской — 21 г/кг, астра солончаковая — 23 г/кг. Зостера морская листьями накапливала до 20 г/кг. Основное содержание (около 90%) железа приходится на корневища. КБП триостренника целым растением составил 4,6; КБП подорожника — 3,2; КБП астры — 1,9; КБП zostеры — 1,5. Все значения превышают единицу, что говорит о значительном поглощении металла растением. Содержание железа в растении в разы превышает содержание железа в среде.

Таким образом, можно говорить о важной роли галофитов в обмене железа на литорали. Галофиты, находясь значительную часть дня в условиях с низким содержанием кислорода, способны переводить железо в более доступную растворимую форму через образование хелатных комплексов. Железо накапливается в корневищах — многолетних органах, а надземные органы обновляются каждый год. Эти растения являются аккумуляторами железа в системе берег-море.

Role of halophytes in iron exchange on the White Sea littoral zone

Pavlova M.

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk
e-mail: mariya-leta@yandex.ru

Halophytes spend about 8 hours a day underwater. Seawater is polluted with heavy metals; especially iron (~ 0.32 mg/l). Halophytes accumulate iron at high concentrations (more than 20 g/kg). The iron concentration in plants is higher than in soil and seawater. About 90% of iron is located in rhizomes. Halophytes can be called iron accumulators on the White Sea littoral zone.

Структурные и функциональные особенности эпилитного лишайника *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. на побережье Белого моря (Республика Карелия)

Бобко А.С. *, Сонина А.В.

Петрозаводский государственный университет, кафедра ботаники и физиологии растений, Петрозаводск
* e-mail: bobko.2001@list.ru

Одной из актуальных задач в современной лихенологии является изучение адаптивных возможностей симбиотического организма и вклад отдельных бионтов в его успешное функционирование в разных условиях внешней среды. Предполагается, что способность лишайников заселять экстремальные местообитания (не доступные многим другим фототрофам), обусловлена, в том числе, варьированием структуры (анатомических слоев) и пластичностью физиологических параметров симбионтов. Цель настоящего исследования: изучить структурно-функциональные особенности эпилитного лишайника *Parmelia saxatilis* (L.) в условиях побережья Белого моря.

Для анализа в естественных условиях обитания были отобраны образцы со скальных поверхностей на супралиторали Белого моря (Республика Карелия, Беломорский район, поселок Растьяноволок). Лишайники произрастали на крупных валунах (обломах гнейсов) на открытых участках с высоким уровнем инсоляции, сильными ветрами, обрызгиванием соленой водой во время штормов. При сборе образцов учитывали: экспозицию поверхности (компас), угол наклона (горный компас), освещенность (портативный люксметр) и характеристики лишайникового покрова (покрытие вида *P. saxatilis*, видовое разнообразие на учетной площадке 10 × 20 см).

В лабораторных условиях анализировали анатомию и количество фотосинтетических пигментов трёх образцов талломов *Parmelia saxatilis*, которые отличались условиями произрастания. С помощью световой микроскопии получено более 200 значений измерения толщины анатомических слоев; количество фотосинтетических пигментов оценивали методом спектрофотометрии в спиртовых вытяжках (162 измерения).

Совокупность полученных данных толщины анатомических слоев не соответствует нормальному распределению ($P_{\text{value}} < 0,05$), для сравнения выборок использовался непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Установлено, что все образцы значительно отличаются лишь по толщине верхнего корового слоя, который сформирован микобионтом. Фотосинтетические пигменты в талломах лишайников (хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды), отражающие деятельность фотобионта, показали среднюю степень варьирования (CV 11–13%) в трех образцах.

На основании корреляционного анализа выявлена прямая связь содержания пигментов (хлорофилла *a* и каротиноидов) с толщиной альгального слоя (в обоих случаях $R^2 = 0,57$ и $P_{\text{value}} < 0,05$). То есть, с увеличением толщины слоя водорослевых клеток увеличивается и количество фотосинтетических пигментов. Толщина альгального слоя может увеличиваться за счет числа клеток водорослей и за счет их более рыхлого расположения.

Таким образом, в ходе исследования установлено, что эпилитный вид *Parmelia saxatilis* адаптируется к условиям побережья за счет изменения анатомических структур обоих симбионтов, которые обеспечивают ему лучшую реализацию функциональных возможностей. Адаптацию этого вида можно расценивать как структурно-функциональную.

Structural and functional features of the epilithic lichen *Parmelia saxatilis* (L.) Ach. on the White Sea coast (Republic of Karelia)

Bobko A. *, Sonina A.

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Plant Physiology, Petrozavodsk
* e-mail: bobko.2001@list.ru

The paper presents an anatomical and physiological analysis of the epilithic lichen *Parmelia saxatilis* (L.). A structural-functional adaptation of the species was identified on the basis of the ANOVA and correlation analyze.

Peculiarities of the leaf epidermis of the facultative halophyte *Lathyrus maritimus* s. l.

Gudkova K.

Petrozavodsk State University, Department of Botany and Physiology of Plants, Petrozavodsk
e-mail: blumks@yandex.ru

We studied peculiarities of leaf epidermis of *Lathyrus maritimus* s.l. growing on the coast of Lake Onega and the White Sea. The analysis of herbarium specimens of PZV was carried out. A map of *L. aleuticus* and *L. maritimus* distribution in Karelia was made. The leaf epidermis of these species differs in the number of stomata, cell shape, and the presence of trichomes.

The purpose of the work is to show the influence of growth conditions (in particular, salinity of soil solution) on the anatomical structure of the leaf epidermis of *Lathyrus maritimus* s.l. Research objectives were: (1) to analyze the herbarium specimens in the PZV herbarium; (2) to describe the structure of the epidermis; (3) to compare epidermal structure of plants from different habitats. *Lathyrus maritimus* s. l. is a perennial herbaceous plant in the family Fabaceae.

Plant material for the anatomical study was collected in the summer of 2021 on the shore of Lake Onega in Petrozavodsk near Sainavolok and on the coast of the White Sea near the village of Rastnavolok. Plant material was fixed with 80% ethanol. Epidermal structure was studied by Pollachi method and the presence of trichomes and stomata on the upper and lower sides of the leaf was determined in 30 replications. Herbarium specimens from the PZV herbarium were analyzed; all herbarium specimens were examined under a binocular microscope. A database of herbarium specimens was compiled.

Analysis of herbarium specimens showed that 26 specimens of *Lathyrus aleuticus* (Greene) Pobed. and 17 specimens of *Lathyrus maritimus* (L.) Bigel. collected from 1925 to 1995 are stored in the PZV herbarium. Trichomes were found only in specimens of *Lathyrus aleuticus*. Based on herbarium data, a distribution map on the territory of Karelia is compiled. Anatomical studies of leaf epidermis showed that plant material collected on the White Sea coast belongs to the species *Lathyrus aleuticus*, and plant material collected on the shore of Lake Onega belongs to the species *Lathyrus maritimus*.

Epidermal features such as the density of stomata, shape of epidermal cells, and the presence of trichomes can be taxonomic features (Mazaheri R., 2016). The leaf epidermis of the *Lathyrus maritimus* differs from that of the *Lathyrus aleuticus* in the number of stomata per unit area, the shape of epidermal cells, and the presence of trichomes. The lower number of stomata in the *Lathyrus aleuticus* may be related to the presence of salinity on the White Sea coast.

This work was supported by the State Assignment Project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 0752-2020-0007).

Динамика содержания фенольных метаболитов в клетках литоральной водоросли

Pelvetia canaliculata в течение приливного цикла

Исламова Р.Т.^{1*}, Замяткина Е.Б.¹, Гулк Е.И.¹, Яньшин Н.А.¹, Биркемайер К.², Тараховская Е.Р.^{1,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

² Университет Лейпцига, факультет химии и минералогии, Лейпциг, Германия

³ Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург

* e-mail: renatula.isl@mail.ru

Особенностью жизненной стратегии ряда бурых водорослей является существование в приливной зоне, где они подвергаются нехарактерным для большинства водорослей стрессовым воздействиям: периодическому иссушению, воздействию солнечной радиации и резких колебаний температуры окружающей среды. Один из самых экстремальных биотопов успешно освоила обитательница верхней литорали *Pelvetia canaliculata*, жизнь которой протекает на скалистых берегах морей и океанов и зависит от амплитуды приливов. Освоив такой сложный для обитания биотоп, пельвеция выработала ряд биохимических адаптаций, включая циклические изменения содержания в клетках разных групп первичных и вторичных метаболитов. Одной из ключевых групп вторичных метаболитов бурых водорослей являются фенольные соединения, известные как антиоксиданты, фотопротекторы, природные пестициды и перспективные соединения для получения эффективных лекарственных препаратов. Ряд фенольных метаболитов обладает антимикробной и фунгицидной активностью, что является весьма интригующим фактом, учитывая то, что *P. canaliculata* представлена исключительно симбиотическими формами, живущими в тесной ассоциации с эндифитными грибами.

Цель данного исследования состояла в выявлении динамики содержания фенольных метаболитов *P. canaliculata* в течение приливного цикла. Для этого на северных берегах о. Средний Керетского архипелага, на четырех последовательных контрольных точках сизигийных и фазовых приливов были собраны талломы пельвеции для исследования общего содержания фенольных соединений, а также 12 отдельных метаболитов фенольной природы.

Результаты показали, что все проанализированные соединения можно разделить на три группы, в зависимости от того, на какой фазе приливного цикла они накапливаются в клетках водоросли. Метаболиты, накапливающиеся на осушке, представлены фитогормонами, обеспечивающими стрессоустойчивость (салициловая кислота), антиоксидантами (β -, λ - и δ -токоферолы, большинство флоротаннинов) и фунгицидами (дитретбутилфенол). Накапливающиеся под водой соединения являются участниками процессов биосинтеза токоферолов (гомогенизиновая кислота), аллелохимическими агентами (пирогаллол) и продуктами окисления фенольных антиоксидантов (тетрагидроксibenзол). Лишь три из исследованных фенольных метаболитов (флороглюциновая кислота, дифлоретол и α -токоферол) не показали ярко выраженной зависимости от фаз прилива.

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

Dynamics of the content of phenolic metabolites in the cells of the intertidal alga

Pelvetia canaliculata during the tidal cycle

Islamova R.^{1*}, Zamyatkina E.¹, Gulk E.¹, Yanshin N.¹, Birkemeyer C.², Tarakhovskaya E.^{1,3}

¹ Saint Petersburg University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

² Leipzig University, Faculty of Chemistry and Mineralogy, Leipzig, Germany

³ Vavilov Institute of General Genetics of RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

* e-mail: renatula.isl@mail.ru

Intertidal brown alga *Pelvetia canaliculata* accumulates certain phenolic metabolites during the different phases of the tidal cycle. Antioxidants and fungicides are accumulated during the low tide phase. The contents of phenolic oxidation products and components of biosynthetic pathways increase under water, during the high tide.

Особенности биохимического состава клеток *Vertebrata fucoides*, расположенных в разных зонах таллома водоросли

Соловьева С.В.^{1*}, Яньшин Н.А.¹, Тараховская Е.Р.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

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

* e-mail: sonyasoloveva79702@gmail.com

Красная макрофитная водоросль *Vertebrata fucoides* — типичный представитель порядка Ceramiales, часто встречающийся в сублиторали и нижней литорали северных морей. По данным анатомических и цитологических исследований, в гетеротрихальном полисифонном талломе этой водоросли наблюдается четкое различие между клетками, расположенными в разных зонах. Апикальная клетка таллома имеет небольшой размер и содержит одно полиплоидное ядро. Она дает начало клеткам-сифонам, формирование и рост которых сопровождается прогрессирующим увеличением количества ядер и снижением плоидности каждого индивидуального ядра. Таким образом, в основании таллома находятся очень крупные клетки, содержащие большое количество гаплоидных или диплоидных ядер. Целью данной работы является изучение зависимости биохимического состава клеток *V. fucoides* от их цитологических характеристик и определение функциональной специализации зон таллома на основе данной взаимосвязи.

Для изучения биохимических параметров таллом водоросли был разделен на три зоны: апикальную, центральную и базальную. В каждой зоне было исследовано содержание белка, углеводов, фотосинтетических пигментов и фенольных соединений.

Зоны таллома существенно различались по всем исследованным параметрам. Углеводы преимущественно накапливаются в центральной зоне. Общее содержание белка максимально в базальных клетках таллома и минимально — в апикальной зоне. Однако, для апикальной зоны характерно относительно высокое содержание метаболически активного растворимого белка (65% от общего количества), в то время как в базальных клетках на долю этой фракции белка приходится всего 26% от общего содержания. Фотосинтетические пигменты (хлорофилл *a* и каротиноиды) также преимущественно сосредоточены в апикальной зоне *V. fucoides*, а в остальных частях таллома их содержание понижено. Это можно объяснить условиями протекания фотосинтеза: именно в верхней части водоросли, находящейся ближе к свету, этот процесс идет активнее. Разнообразные фенольные соединения, специфические вторичные метаболиты *V. fucoides*, также распределены по таллому неравномерно: их содержание максимально в апикальной зоне и постепенно снижается по направлению к основанию таллома. Учитывая токсичность этих соединений, можно предположить, что их наличие способствует химической защите водоросли от эпифитов и патогенных микроорганизмов.

Полученные данные позволяют прийти к заключению, что в талломе *V. fucoides* наиболее метаболически активной частью является апикальная зона с полиплоидными клетками, и именно там наиболее активно протекает большая часть биосинтетических процессов. Чтобы лучше понять функциональную специализацию клеток *V. fucoides*, в ходе дальнейших исследований мы рассмотрим распределение других метаболитов по таллому водоросли.

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

Specificity of the biochemical composition of *Vertebrata fucoides* cells located in different zones of the algal thallus

Soloveva S.^{1*}, Yanshin N.¹, Tarakhovskaya E.^{1,2}

¹ Saint Petersburg University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

² Vavilov Institute of General Genetics of RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

* e-mail: sonyasoloveva79702@gmail.com

Thalli of *Vertebrata fucoides* are characterized by specific intra-thallus distribution of proteins, carbohydrates, photosynthetic pigments, and secondary phenolic metabolites. Soluble proteins, pigments, and phenolics are preferentially accumulated in the highly polyploid apical cells thus implying their enhanced metabolic activity and chemical protection.

Изменение биохимического состава морских красных водорослей при снижении pH воды

Яньшин Н.А.^{1*}, Замяткина Е.Б.¹, Тараховская Е.Р.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физиологии и биохимии растений, Санкт-Петербург

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

* e-mail: kolya1256@gmail.com

Одним из наиболее критичных последствий изменения климата Земли, происходящего в настоящее время и прогнозируемого в будущем, является закисление Мирового океана. В связи с этим приобретают особый интерес исследования физиологических и биохимических адаптаций морских организмов к снижению pH воды.

Целью данной работы явилось исследование изменения биохимического состава двух видов красных водорослей при снижении pH воды. Объектами исследования служили представители двух порядков класса Florideophyceae: *Coccotylus brodiei* (Gigartinales) и *Phycodrys rubens* (Ceramiales) — сублиторальные, относительно глубоководные виды. Обе водоросли были собраны в прибрежной зоне Белого моря. В течение семи суток талломы водорослей инкубировали в воде с типичным для Белого моря значением pH (7,9) и пониженным pH (6,9 и 5,9), после чего исследовали их биохимический состав.

Полученные результаты показывают, что в биохимическом составе клеток обеих водорослей происходят значительные изменения, даже за такой непродолжительный период экспозиции, как семь суток. В талломах обеих водорослей при понижении pH воды повышалось содержание фотосинтетических пигментов фикобилинов. Интересным кажется, что при снижении pH воды в талломах *C. brodiei* происходило также накопление хлорофилла «а», в то время как клетки *P. rubens*, напротив, теряли этот пигмент. В талломах *P. rubens* при максимальном снижении pH воды в несколько раз возрастало содержание пероксида водорода, что свидетельствует о том, что водоросль находилась в состоянии физиологического стресса. Также в клетках фикодриса происходило снижение содержания вторичных фенольных метаболитов, что является показателем ингибирования биосинтетических процессов. В клетках *C. brodiei* подобных реакций не наблюдалось, что может говорить о большей устойчивости этого вида к данному фактору.

Полученные результаты позволяют прийти к выводу, что разные реакции на снижение pH воды у *C. brodiei* и *P. rubens*, при сходных экологических предпочтениях данных видов, могут быть связаны с биохимическими особенностями различных систематических групп класса Florideophyceae.

Проект выполняется при поддержке РФФИ (грант № 20-04-00944).

Alteration of the biochemical composition of marine red algae induced by reduction of the seawater pH value

Yanshin N.^{1*}, Zamyatkina E.¹, Tarakhovskaya E.^{1,2}

¹ Saint Petersburg University, Department of Plant Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg

² Vavilov Institute of General Genetics of RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

* e-mail: kolya1256@gmail.com

Reduction of the pH value of seawater induced changes in content of photosynthetic pigments, phenolic compounds, and reactive oxygen species in two red algae representing different orders of Florideophyceae. Gigartinean alga *Coccotylus brodiei* showed higher resistance to water acidification, compared to the ceramialean species *Phycodrys rubens*.

Характеристика эдафических факторов растительности как компонент дифференциации местообитаний восточноевропейских тундр (м. Костяной Нос, Ненецкий Заповедник)

Карсонова Д.Д. *, Билая Н.А.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

* e-mail: dariakarson@gmail.com

Наиболее эффективным подходом для сохранения биоразнообразия является мониторинг состояния местообитаний видов. Показатели почв определяют характер растительности, поэтому исследование их взаимного влияния с характеристиками растительных сообществ является актуальной задачей.

Нами были выполнены исследования показателей почв и растительности в районе м. Костяной Нос с целью установления взаимосвязи и дальнейшей характеристики местообитаний восточноевропейских тундр.

Полные геоботанические описания классифицированы в соответствии с эколого-флористической классификацией Браун-Бланке. Пробы почвы отбирали из гумусовых горизонтов. Лабораторный анализ включал определение кислотности и содержания органического углерода ($C_{орг}$) методом определения потери при прокаливании (ППП).

Преимущественный тип растительности — кустарничково-лишайниковые тундры, и сообщества на склонах водораздельных гряд класса *Loiseleurio procumbentis-Vaccinieta* Egger ex Schubert 1960; характерные приозерные и пойменные понижения, с ивняковыми сообществами (порядок *Polemonio acutiflorum-Salicetalia glaucae* Lavrinenko et Kochergina 2022). Между хорошо дренированными лишайниковыми тундрами и приозерными депрессиями распространены переходные положения с бугристо-западинными комплексами из сообществ двух синтаксонов: класс *Oxycocco-Sphagnetum* Br.-Bl. et R. Tx. 1943 на поверхности мерзлых торфяных бугров, и класс *Scheuchzerio-Caricetum nigrae* (Nordh. 1936) Tx. 1937 — в топях между ними.

В результате дальнейшего табличного анализа описаний (41) растительности предварительно были идентифицированы: 1) сообщества в условиях хорошего дренажа на слабокислых ($pH_{ср.} = 5,65$) подзолах с низким содержанием $C_{орг}$ в гумусовом горизонте почв, в среднем 5,4% (подзолы иллювиально-железистые): асс. *Loiseleurio-Diapensietum* (*Loiseleuria procumbens*, *Gymnomitrium coralloides*, *Diapensia lapponica*, *Armeria scabra*); асс. *Empetro hermaphroditum-Salicetum nummulariae* вар. *Betula nana* (*Betula nana*, *Arctous alpina*, *Empetrum hermaphroditum*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Carex arctisibirica*); 2) сообщества на аллювиальных дерново-глебоватых, -слабоглебоватых почвах, отличающихся нейтральной реакцией ($pH_{ср.} = 6,72$) и большим содержанием $C_{орг.ср.} = 19,4\%$, что отражено в более богатом флористическом составе: асс. *Chamaepericlymeno suecici-Salicetum glaucae* вар. *Equisetum palustre* (*Salix glauca*, *S. lanata*, *S. phylicifolia*); 3) сообщества на мелкобугристых торфяниках, в сырых топях (олиготрофные и эутрофные почвы, торфяно-подбуры) со средним содержанием $C_{орг} = 11,0\%$; асс. *Rubus chamaemori-Dicranetum elongati* субасс. *caricetosum rariflorae* (*Rubus chamaemorus*, *Carex rariflora*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*), асс. *Carici rariflorae-Sphagnetum lindbergii* Andreev 1932 (*Carex rariflora*, *Sphagnum lindbergii*).

Дифференциация растительных сообществ отражает вариативность водного режима и содержания органического вещества в гумусовых горизонтах почв, характеризую особенности местообитаний.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект №20-17-00160) в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИН РАН по теме № 122041100242-5.

Characteristics of edaphic factors of vegetation as a component of the differentiation of habitats in the Eastern European tundra (Cape Kostyanoy Nos, Nenets Reserve).

Karsonova D. *, Bilaya N.

Komarov Botanical Institute of RAS, Saint Petersburg

* e-mail: dariakarson@gmail.com

The purpose of our research is to investigate the state of soils and vegetation, in order to understand the relationship and subsequent characteristics of the habitats of the Eastern European tundra. The key plots are located in the area of Cape Kostyanoy Nos (Nenets Reserve, Korovinskaya Bay (Barents Sea)). The differentiation of plant communities reflects the variability of the moisture regime and the content of soil organic matter in humus layers which is the key to characterizing the ecological regime of habitats.

Genetic structure of the moorland clouded yellow *Colias palaeno* (Insecta, Lepidoptera, Pieridae) populations from Northernmost European Russia

Shapoval G.^{1,2*}, Shapoval N.²

¹ Altai State University, Institute of Biology and Biotechnology, Barnaul

² Zoological Institute of RAS, Department of Karyosystematics, Saint Petersburg

* e-mail: galinakuftina@mail.ru

The genus *Colias* Fabricus, 1807 (Lepidoptera, Pieridae) is one of the taxonomically challenging groups of butterflies. It comprises approximately 90 described species, distributed mainly in Holarctic region, with a few species occurring in the Afrotropical, Oriental and Neotropical biogeographical regions.

During the complex investigation of the Palaearctic *Colias*, we have studied cases of incongruence between molecular markers and morphological characters for a number of taxa on a base of approach uniting analysis of multilocus molecular data and methods of population genetics. Discordance between “phylogenetic entities” revealed by mitochondrial/nuclear genes and “traditional species” recognized on the basis of morphological characters, ecological traits and distribution is a quite common phenomenon in modern taxonomic and evolutionary studies. However, the factors determining such discrepancies have received little attention despite its obvious significance for taxonomy and evolution.

The most striking example of such incongruence we found in the taxonomically well-studied species Moorland clouded yellow (*Colias palaeno*). We sequenced a standard barcoding region (the 658 bp fragment of *COI* gene) for 2105 specimens that spans the whole species distribution range and use five nuclear gene regions (*CAD*, *EF-1a*, *GADPH*, *RPS5*, and *wingless*) to analyze the genetic structure of this species. Analysis of *COI* gene revealed presence of five highly diverged mitochondrial lineages (the genetic distance ranged from 1.5% to 9%, which exceed typical interspecific *COI* distances reported for butterflies.). In contrast to this, we have found that *Colias palaeno* is genetically homogenous with respect to studied nuclear genes. Thus, the discovered mitochondrial lineages did not correspond neither to the phenotypic traits, nor to the clustering of nuclear genes.

Comparison of 274 samples from the Extreme North of European Russia (Murmansk Oblast, Vologda Oblast, Nenets Autonomous Okrug, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Republic of Komi and Republic of Karelia) with samples from neighbouring regions and the material collected through the entire distribution range revealed surprisingly low genetic diversity of the northernmost populations. Thus, phylogenetic analysis recovered only two mitochondrial lineages out of five found for the species.

Further investigation revealed strong association of the mitochondrial clades with different *Wolbachia* strains, supporting the hypothesis that the mito-nuclear discordance resulted from selection on the mitochondrial genome due to selective sweeps by *Wolbachia* strains. We conclude that *Wolbachia* infection has played a key role in the evolution of mitochondrial genomes of *Colias palaeno*.

The financial support for this study was provided by the Russian Science Foundation grant No. 22-24-01086.

Пищедобывательный аппарат полихеты *Pholoe assimilis* (Annelida, Sigalionidae)

Закаржаева П.Н. *, Жадан А.Э.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва

* e-mail: zakarzhaevatim@gmail.com

Пищедобывательный аппарат полихет семейства Sigalionidae слабо изучен. Из литературных данных известно, что все они хищники и используют мускульную аксиальную глотку с двумя парами челюстей для ловли добычи. Очень мало информации о гистологии и ультраструктуре их глотки и о механизмах ее протракции и ретракции. Химический состав челюстей известен только для одного вида семейства. Наша работа посвящена изучению пищедобывательного аппарата беломорской полихеты *Pholoe* с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии, компьютерной томографии и гистологических методов.

Глотка способна выворачиваться и втягиваться внутрь тела, где занимает пространство до десятого сегмента. Она представляет собой сплюснутый дорсо-вентрально мышечный цилиндр в длину около 1 мм. На дистальном конце вывернутой глотки расположены 18 крупных терминальных папилл и челюсти. Челюстной аппарат состоит из двух пар челюстей, при этом каждая пара образует единую функциональную структуру (в вывернутом состоянии глотки □ дорсальную и вентральную пару). Каждая челюсть состоит из трех частей: зуб, крыло и тело. Функцией зуба является захват добычи, в нем проходит челюстной канал для выделения секрета предположительно ядовитых желез. Функциональная роль крыла и тела неизвестна, вероятно, они являются опорными структурами для зуба. Кроме того, на медиальной поверхности крыла располагаются железы. Каждая челюсть ассоциирована с одной железой, соразмерной свободному краю крыла челюсти. Канал железы предположительно начинается в месте пересечения крыла и тела с внутренней стороны и выходит на поверхность на кончике зуба.

Исследование химического состава челюстей показало, что челюсти *Pholoe* состоят из склеропротеидов, они не минерализованы, то есть не содержат карбоната кальция или соединений других металлов. В них обнаружен, вероятно, связанный с белками йод. Его функция пока неясна.

Полученные данные о гистологическом строении глотки на данный момент обработаны не полностью, но можно сказать, что глотка связана с глоточной сумкой пучками радиальных волокон, снаружи покрыта кутикулой, ее стенка образована мощными слоями радиальных и продольных мышц. Имеется круговая мышца в основании глоточных папилл, она, вероятно, является сфинктером, препятствующим потере добычи. В глотке выделяется два типа железистых образований, первый связан с терминальными папиллами глотки и, вероятно, отвечает за секрецию слизи в них; второй ассоциирован с челюстями, и предположительно, выделяет ядовитый секрет.

The feeding apparatus of polychaete *Pholoe assimilis* (Annelida, Sigalionidae)

Zakarzhaeva P. *, Zhadan A.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow

* e-mail: zakarzhaevatim@gmail.com

This study gives some preliminary results on the structure and functioning of the feeding apparatus of *Pholoe assimilis*. The methods of light and scanning electron microscopy, computed tomography and histological sections were used in the study.

Особенности строения ропалоидов *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — новый взгляд на функции адгезионных органов

Домрачева М.М. *, Хабибулина В.Р.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург
* e-mail: m.domracheva2000@yandex.ru

Staurozoa — небольшая группа морских прикрепленных медуз. Их тело состоит из стебелька и чашечки с восемью руками. Многие представители Staurozoa несут восемь ропалоидов — видоизмененных первичных щупалец, расположенных между руками. Считается, что единственная функция этих органов — временное прикрепление чашечки к субстрату во время передвижения. Однако существуют предположения о том, что ропалоиды могут выполнять рецепторную функцию.

Мы исследовали детали строения ропалоидов *Haliclystus auricula* с помощью иммуногистохимических, гистологических и электронномикроскопических методов. Ропалоиды *H. auricula* имеют вид бобовидных структур с прикрепительной бороздкой на дистальной части и соединены с чашечкой небольшой ножкой, в которой проходит канал гастроваскулярной системы. Ропалоиды являются сложными адгезионными органами, богатыми нервными и мышечными элементами. Прикрепление к субстрату осуществляется как за счет мускулатуры, так и при помощи клейкого секрета, выделяющегося железистыми клетками на поверхность ропалоида. На гистологических срезах и электронограммах удается визуализировать три типа гранул — одиночные палочковидные структуры и группы округлых структур, одни из которых окрашиваются базофильно, а другие — ацидофильно. Палочковидные гранулы и базофильные гранулы, вероятно, содержат кислые мукополисахариды и участвуют в формировании гликокаликса. Ацидофильные гранулы, по-видимому, имеют белковую природу и участвуют в адгезионном прикреплении ропалоидов к субстрату.

Основные нервные элементы ропалоидов *H. auricula* выявляются при окрашивании антителами к FMRFамиду, тубулину и нейротензину. FMRFамидергические клетки образуют сплетения в области прикрепительной бороздки и ножки ропалоида и сообщаются отростками с нервным кольцом, проходящим по краю чашечки. Также удается визуализировать FMRFамид-иммунореактивные клетки, отростки которых подходят к поверхности ропалоида. По-видимому, эти клетки являются рецепторными. Тубулин-иммунореактивные нервные элементы тоже образуют скопления в области бороздки ропалоида и колокализуются с FMRFамид-иммунореактивными элементами. В области ножки ропалоида также удается визуализировать скопления тубулин-иммунореактивных клеток, но колокализации с FMRFамидергическими клетками не обнаружено. По-видимому, эти группы клеток участвуют в регуляции работы мускулатуры ножки и прикрепительной бороздки ропалоида. Нейротензин-иммунореактивные элементы образуют сплетение в основании ножки ропалоида, однако большая их часть ассоциирована со стенкой канала гастроваскулярной системы ропалоида, что может указывать на их участие в регуляции синтеза пищеварительных ферментов и адгезивного секрета.

Полученные данные указывают на то, что функционирование ропалоидов *H. auricula* осуществляется под контролем нескольких морфологически и химически различных групп нервных элементов. Наличие рецепторов свидетельствует о том, что ропалоиды выполняют не только прикрепительную, но и рецепторную функцию, подобно ропалиям других медуз.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Культивирование микроорганизмов» и ЦКП «Таксон» ЗИН РАН.

Morphological analysis of rhopalioids of *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — a new look at the functions of adhesive organs

Domracheva M. *, Khabibulina V.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg
* e-mail: m.domracheva2000@yandex.ru

Staurozoa is a group of stalked jellyfishes, which often have adhesive anchors, so-called rhopalioids. It is assumed that anchors can provide a sensory function. Our research includes morphological analysis of nerve organization in rhopalioids of *Haliclystus auricula* using light microscopy, immunohistochemistry and transmission electron microscopy.

Строение мужской половой системы и сперматогенез морского паука *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) (Pycnogonida)

*Петрова М.А. *, Богомолова Е.В.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва

* e-mail: mashkaromashka225@gmail.com

Морские пауки — древняя группа членистоногих. У пикногонид примитивное внешнее оплодотворение и выражена забота о потомстве: самец вынашивает кладки. Публикации, посвященные строению мужской половой системы и сперматозоидов пикногонид, единичны; половое поведение подробно описано всего для двух видов. Подобная информация для представителей Phoxichilidiidae отсутствует в литературе. В данной работе была поставлена цель изучить строение мужской половой системы, строение и развитие сперматозоидов морского паука *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) методами гистологии, ТЭМ, СЭМ и КЛСМ, провести наблюдения полового поведения в аквариальных условиях и на основе полученных данных предложить функциональную интерпретацию строения половой системы и ассоциированных с ней желез самца, а также морфологии гамет.

Мужская половая система *Ph. femoratum* включает в себя гонаду и железы. Семенник имеет типичное для пикногонид строение: состоит из U-образной туловищной части, которая лежит дорсолатерально по обеим сторонам средней кишки, и pedalных отростков, доходящих до середины вторых кокс. Во 2–4 парах ходильных ног pedalные отростки семенника переходят в семяпроводы, которые открываются гонопорами с вентральной стороны в дистальной части вторых сегментов ходильных ног. В 1й паре ходильных ног pedalные отростки заканчиваются слепо, гонопоры на этой паре ног отсутствуют. Семенник лежит между двумя листками горизонтальной септы. Семенник и семяпроводы окружены кольцевой мускулатурой собственной стенки и септы. В семяпровод открывается две группы желез: проксимальные — недалеко от начала семяпровода, и дистальные — вблизи гонопора. Вероятно, секрет этих желез сопровождает выделяемые самцом гаметы.

Сперматоциты на разных стадиях развития расположены кластерами, зрелые гаметы преобладают в задних сегментах туловища и pedalных отростках. Зрелый сперматозоид *Ph. femoratum* подвижен, имеет удлиненную головку, типичную для животных с оплодотворением в слизистых кладках. Аксонема модифицированная: отсутствуют центральные микротрубочки. Сперматозоиды такого же строения описаны у других пикногонид с небольшими кладками.

Только у самцов *Ph. femoratum* имеются бедренные железы и железы яйценосных ножек, вероятно, связанные с репродукцией. Традиционно считали, что после спаривания самец формирует кладку, скрепляя оплодотворенные яйца секретом бедренных желез. Однако наши наблюдения за «спариваниями» опровергают это утверждение: самец *Ph. femoratum* не принимает участия в формировании кладки. Функция бедренных желез пока остается неизвестной. Секрет желез яйценосных ножек, предположительно, обладает бактерицидным и фунгицидным действием для защиты кладок от зарастания.

The structure of male reproductive system and spermatogenesis of a sea spider *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) (Pycnogonida)

*Petrova M. *, Bogomolova E.*

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow

* e-mail: mashkaromashka225@gmail.com

The anatomy and ultrastructure of male reproductive system of a sea spider *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) are described with histology, TEM, SEM and CLSM. Possible meaning of sperm structure and likely functions of glands are suggested, basing on observations of mating behavior.

Новые данные о морфологии и молекулярной филогении пресноводной амебы *Cochliopodium vestitum* (Archer, 1871) Archer, 1877 (Amoebozoa, Himatizmanida)

Суркова А.А.^{1*}, Кулишкин Н.С.¹, Кудрявцев А.А.², Смирнов А.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический Институт РАН, лаборатория клеточной и молекулярной протистологии, Санкт-Петербург

* e-mail: alina.a.surkova.pda@gmail.com

Мы провели светомикроскопическое, ультраструктурное и молекулярное исследование вида *Cochliopodium vestitum* (Archer, 1871) Archer, 1877 (Amoebozoa, Himatizmanida). Этот редкий вид амеб был открыт в конце 19 века, однако лишь в 2005 году был переописан и исследован методами трансмиссионной электронной микроскопии. Изученные нами амебы были изолированы из верхних слоев донного грунта Купального озера на острове Средний (Губа Чупа, Кандалакшский залив, Белое море) в июле 2021 года. Это то же самое местообитание, из которого 20 лет назад был изолирован штамм этого вида, впоследствии изученный с помощью электронного микроскопа и обозначенный в качестве неотипа. Нам впервые удалось установить стабильную культуру *C. vestitum* и выяснить, что он образует цисты, ранее неизвестные для этого вида. Получены новые данные о строении чешуек тектума этих амеб с использованием сканирующего электронного микроскопа. Секвенирована частичная последовательность гена цитохромоксидазы этого вида. Ее филогенетический анализ показывает, что *C. vestitum* входит в состав одной из эволюционных ветвей в пределах рода *Cochliopodium*, представители которой отличаются общими деталями строения чешуек тектума. Из ранее описанных видов в состав этой ветви входят *C. spiniferum* и *C. kieliense*.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ 20-14-00195 (резоляция, электронная микроскопия и секвенирование) и государственного задания по теме 122031100281-5 (идентификация и филогенетика). При выполнении работы использованы технические возможности ресурсных центров «Культивирование микроорганизмов», «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Вычислительный центр СПбГУ» и «Биобанк» научного парка СПбГУ.

New data on the morphology and molecular phylogeny of the freshwater amoeba *Cochliopodium vestitum* (Archer, 1871) Archer, 1877 (Amoebozoa, Himatizmanida)

Surkova A.A.^{1*}, Kulishkin N.S.¹, Kudryavtsev A.A.², Smirnov A.V.¹

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Cellular and Molecular Protistology, Saint Petersburg

* e-mail: alina.a.surkova.pda@gmail.com

We carried out a light microscopic, ultrastructural and molecular study of the species *Cochliopodium vestitum* (Archer, 1871). The species studied by us was isolated from the typical habitat (Kupalnoye Lake on Sredny Island). The sequence of the cytochrome oxidase gene was obtained for the first time.

Грибы, ассоциированные с полухордовым кишечнодышащим *Saccoglossus mereschkowskii* (Wagner, 1885) из Белого моря

*Кокуркина Ю.А.**, *Грум-Гржимайло О.А.*, *Ежова О.В.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

* e-mail: honey.yulika02@mail.ru

Морские грибы — это большая экологическая группа главным образом микромицетов, повсеместно распространенных и вступающих в различные взаимодействия с представителями морской флоры и фауны. Их взаимодействие с животными изучено в небольшой степени, а взаимоотношения с полухордовыми кишечнодышащими до настоящего времени не исследовались.

Gary M. King (1986) показал ингибиторную способность бромфенола полухордовых к подавлению микробиологической активности. Мы предположили, что слизь может также защищать кишечнодышащих и от морских грибов. В качестве объекта для исследования был выбран беломорский *Saccoglossus mereschkowskii* (Hemichordata, Enteropneusta) (Wagner, 1895).

Первый этап исследования начался летом 2021 года на Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (ББС МГУ) и продолжился на биологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Для проверки гипотезы были сделаны посевы *S. mereschkowskii*, ила и морской воды на питательные агаризованные среды сусло-агар на морской воде (СМВ). Использовался ил, собранный вместе с *S. mereschkowskii*, вода забиралась после отстаивания ила в течение суток. По мере роста грибов осуществлялся их отсев в чистую культуру. При появлении грибов на животных предполагалось сравнить видовой состав грибов с таковым из ила и морской воды.

Летом 2022 года работа была продолжена также на ББС МГУ. Были проведены повторные посевы *S. mereschkowskii* и смывов с его покровов на питательные агаризованные среды СМВ, искусственное заражение грибами экземпляров кишечнодышащего, вскрытие *S. mereschkowskii* и посев его внутренностей, проверка возможности роста грибов на питательной среде на основе *S. mereschkowskii*, проверка воздействия слизи на уже имеющиеся морские грибы, изучение микобиоты норок *S. mereschkowskii*, изучение поверхности *S. mereschkowskii* с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, Jeol JSM-7000, Япония).

По результатам обоих этапов на посевах *S. mereschkowskii* грибы не были найдены. В посевах морской воды и ила обнаружены мицелиальные и дрожжевые грибы. Все промытые в стерильной морской воде особи *S. mereschkowskii* оказались подвержены искусственному заражению грибами. Посевы смывов показали, что в слизи *S. mereschkowskii* находится малое количество грибов, что коррелирует с результатами СЭМ — на поверхности *S. mereschkowskii* отсутствует настоящий мицелий, однако были отмечены структуры, морфологически напоминающие бактерии и споры грибов. В эксперименте при посеве коллекции грибов на чашки со слизью все культуры выросли.

На основе полученных данных нельзя сделать вывод о подтверждении нашей гипотезы. Для окончательного согласования результатов требуется изучение химического состава слизи.

Fungi associated with hemichordate acorn worm *Saccoglossus mereschkowskii* (Hemichordata, Enteropneusta) (Wagner, 1895) from the White Sea

*Kokurkina J.**, *Grum-Grzhimaylo O.*, *Ezhova O.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow

* e-mail: honey.yulika02@mail.ru

Fungi associated with hemichordate acorn worm *Saccoglossus mereschkowskii* were studied. Results demonstrate no fungi were detected on *Saccoglossus*'s inoculations, selected enteropneusts were infected by artificial contamination of fungi but on media with slime the working collection grew. To clarify data, the chemical composition of slime must be studied in detail.

Ультраструктура и жизненный цикл *Piridium sociabile* (Chrompodellida) — паразита брюхоногого моллюска *Buccinum undatum*

Селюк А.О.^{1,2*}, Кремнев Г.А.¹, Крупенко Д.Ю.¹, Карпов С.А.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

Piridium sociabile — это одноклеточный паразит, обитающий в подошве ноги морской гастроподы *Buccinum undatum*. Он был впервые обнаружен в 1936 году в Дублинском заливе (Patten, 1936). Автор описала на светооптическом уровне последовательные этапы развития трофической, по-видимому, стадии паразита. Она выяснила, что заражение происходит с января по март, при проникновении в моллюска скопления паразита формируют цисту неясной природы. Выход предполагаемых расселительных стадий, которых автору не удалось наблюдать, происходит к ноябрю-декабрю. Рут Паттен (Patten, 1936) отнесла *P. sociabile* к шизогегаринам (Apicomplexa: Schizogregarina). В дальнейшем работ по морфологии и жизненному циклу паразита выполнено не было.

Недавно было установлено, что *P. sociabile* относится к группе Chrompodellida, а его ближайшим родственником является *Vitrella brassiciformis* (Mathur et al., 2019). Это второй пример паразитизма среди хромподеллид, которые представлены преимущественно свободноживущими автотрофами (Chromerida) и хищниками (Colpodellida). Хромподеллиды являются сестринской группой для Apicomplexa — облигатных паразитов животных. Исследование тонкого строения клеток и жизненного цикла *P. sociabile* может пролить свет на эволюционный переход от автотрофии к паразитизму.

Наша работа посвящена изучению ультраструктуры и жизненного цикла *P. sociabile*. Для этого мы собрали зараженных моллюсков на Белом море в окрестностях УНБ СПбГУ «Беломорская» в октябре 2021 и августе 2022 гг., и зафиксировали паразита для электронно-микроскопических и гистологических исследований.

Первые полученные результаты по ультраструктуре цисты показали, что внутри нее пространство между отдельными клетками паразита заполнено цитоплазматической массой неясной природы. Некоторые клетки внутри цисты имеют на своем переднем конце структуру, напоминающую коноид, от которой отходят многочисленные микротрубочки и тянутся по периферии клетки. «Коноид» тесно контактирует с упомянутой цитоплазматической массой, которой, возможно, и питаются клетки паразита. Покров паразита представлен плазмалеммой и внутренним мембранным комплексом с субпелликулярными микротрубочками. Удаётся найти микропоры. Митохондрии имеют трубчатые кристы. На некоторых срезах видна вытянутая, длиной примерно 3,5 мкм, жгутикоподобная структура, берущая начало от небольшого углубления в клетке, иногда в непосредственной близости к «коноиду», однако кинетосом не обнаружено.

В дальнейшем планируется выполнить трехмерную реконструкцию «коноида», определить его функции, а также уточнить видовую принадлежность беломорских изолятов *Piridium cf. sociabile* на основе последовательности 18S рДНК.

Работа поддержана грантом РФФ № 21-74-20089. Выражаем благодарность РМукТ Научного парка СПбГУ за доступ и обеспечение работ на электронном микроскопе JEM 1400.

Ultrastructure and life cycle of *Piridium sociabile* (Chrompodellida), parasite of *Buccinum undatum*

Seliuk A.O.^{1,2*}, Kremnev G.A.¹, Krupenko D.Y.¹, Karpov S.A.^{1,2}

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

We investigated ultrastructure of the uninucleated trophic stage of the *Piridium sociabile*, parasite of the common whelk. Several characteristics of Apicomplexa, such as inner membrane complex, micropores, mitochondria with tubular cristae and an apical conoid-like structure have been described.

Сравнительный анализ морфологии экстерн и их роль в транспорте питательных веществ у представителей группы Rhizocephala (Crustacea: Cirripedia)

Арбузова Н.А.^{1,2*}, Лянгузова А.Д.^{1,2}, Миролюбов А.А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

* e-mail: arbuzovanata0211@gmail.com

Анализ принципов организации распределительных систем необходим для того, чтобы изучить функциональную морфологию животных. К сожалению, те организмы, которые сильно видоизменены вследствие перехода к паразитическому образу жизни, до сих пор слабо изучены.

Одним из примеров таких организмов являются корнеголовые ракообразные (Cirripedia: Rhizocephala). Тело взрослой эндопаразитической самки ризоцефал подразделяется на две части: интерну, систему столон в гемоцеле хозяина, и экстерну, вынесенную за пределы тела хозяина и выполняющую репродуктивную функцию. Питательные вещества поглощаются столонами интерны и транспортируются к экстерне, содержащей развивающихся эмбрионов. Однако то, каким образом осуществляется транспорт, до сих пор остается неизвестными. Экстерны большинства представителей ризоцефал обладают развитой мускулатурой и способны сокращаться. Эти сокращения необходимы для вентиляции мантийной полости. Мы предполагаем, что они также могут быть важны для перемещения жидкости по системе лакун экстерны, которые через стебелек соединены с каналом в столонах интерны. Однако сведения о строении экстерн до сих пор остаются неполными — мышечная система изучена в основном с использованием стандартных гистологических методов, а о лакунарной системе почти ничего не известно.

Целью нашей работы был сравнительный анализ мышечной и лакунарной систем экстерн у нескольких видов ризоцефал — *Peltogasterella gracilis* (сем. Peltogasterellidae), *Polyascus polygeneus* (сем. Polyascidae) и *Lernaediscus rybakovi* (сем. Peltogasteridae). Эти виды обладают разными размерами и морфологией экстерн, а также филогенетически удалены друг от друга. По всем трем видам были получены данные компьютерной микротомографии (Micro-CT) и конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (CLSM). Имеющиеся результаты позволяют реконструировать мышечную и лакунарную систему экстерн у рассмотренных представителей корнеголовых. Наши данные позволяют предположить, как осуществляется транспорт питательных веществ в теле корнеголовых, и как в этом участвуют мышечная и лакунарная системы экстерн.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-74-00018.

Comparative analysis of externae morphology and their role in nutrient transport in Rhizocephala (Crustacea: Cirripedia)

Arbuzova N.^{1,2*}, Lianguzova A.^{1,2}, Mirolubov A.²

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrates Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

* e-mail: arbuzovanata0211@gmail.com

Organization of circulatory systems in the metazoans is one of the key issues of the functional morphology. Circulatory systems are still poorly studied in the parasitic organisms. We visualised lacunar and muscular systems in the externae of several species of parasitic barnacles (Rhizocephala). Obtained results will help to elucidate the transport mechanics in the rhizocephalans.

Integrative taxonomy and phylogeography of *Eubranchus* species (Gastropoda: Nudibranchia) from Russian seas

*Grishina D. *, Schepetov D., Ekimova I.*

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

* e-mail: dairiagrishina00@gmail.com

Nudibranch mollusks of the genus *Eubranchus* are a common component of marine hydroid communities. Currently, the taxonomy of the genus remains confusing and relationships between species are not resolved. The reason is the lack of molecular data for the most of currently described species, as well as a significant undescribed biodiversity. Although according to preliminary estimates, the highest number of species is confined to tropical regions, the diversity of the seas of Russia also remains poorly studied. Our recent research reported on presence of two new species in the Barents Sea and the Sea of Japan. In the present study the first attempt is made to resolve the relationship between species of the genus *Eubranchus* in the waters of the Russian seas using an integrative approach.

In total, 291 samples of various species belonging to the genus *Eubranchus* from the Barents and the White seas and the Sea of Japan were used. Standard nuclear and mitochondrial molecular markers (H3, 18S and COI, 16S, respectively) were used to estimate phylogenetic relationships. Phylogenetic reconstructions were performed using two different algorithms — the maximum likelihood method and the Bayesian estimation of the posterior probability. Haplotype networks were used to estimate the population structure for each studied species. For nudibranchs the main defining features are the coloration of individuals, the morphology of radulae and jaws, and the anatomy of the reproductive system. The color features of individuals were determined from lifetime photographs of samples that were taken before fixation. The structure of the radular apparatus was analyzed using scanning electron microscopy. To determine the details of the structure of the jaws of mollusks, both scanning electron and light microscopy were used. Since the presence of penial calcareous stylet was described for a few of the studied species, a computer microtomography was performed.

The received data is being processed. The results will be shown at the conference. Complete revision of the genus *Eubranchus* is required to clarify the relationships within the genus and to understand the evolutionary pathways of current species diversity formation. The resolution of the species relationships between eubranchids of Russian seas may help to identify important identification features, and obtained data, both molecular and morphological, will contribute for further large-scale revision of the genus.

Комплекс видов *Polydora cf. ciliata* Johnston, 1838 (Annelida, Spionidae) в Белом море

Братчикова Ю.А.^{1*}, Семин В.Л.², Неретина Т.В.³, Колбасова Г.Д.¹, Краснова Е.Д.¹, Цетлин А.Б.¹

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

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова

* e-mail: bratchikova.yu.a@gmail.com

Spionidae — широко распространенное семейство полихет, большая часть представителей которого обитает на мягких заиленных грунтах и строит трубки из частиц детрита. Но среди спионид выделяется группа Polydorini, представители которой обладают способностью к сверлению известковых субстратов. Однако, среди Polydorini встречаются как сверлящие формы, так и строящие трубки, причем очевидных морфологических адаптаций к тому или иному образу жизни у этих червей нет. До сих пор остается неразрешенным вопрос, какие виды из группы Polydorini можно различать по образу жизни, а какие формы являются конспецифичными и могут существовать в разных условиях. Один из наиболее известных представителей этой группы, *Polydora ciliata* Johnston, 1838, впервые был описан у берегов Великобритании как вид, зарывающийся в мелкий ил в трещинах камней, но впоследствии многие авторы стали описывать как *P. ciliata* и сверлящие формы.

В Белом море *P. ciliata* впервые была отмечена В.А. Свешниковым (1958) как форма, перфорирующая раковины *Littorina littorea* Linnaeus, 1758. В настоящее время в Белом море известны два морфотипа, определяемые как *P. ciliata*. Первый находят на илистом субстрате в меромиктических водоемах, второй сверлит раковины гастропод. Цель нашей работы — определить таксономические отношения двух представителей *P. cf. ciliata*, различающихся по образу жизни. Материал был собран в бухте Биофильтров, находящейся в районе Беломорской биологической станции МГУ (66.538889°N, 33.169444°E) и на Филипповских садках в районе Соловецких островов (65.0347957°N, 35.6786587°E). Морфотип из бухты Биофильтров обитает на илистом субстрате на границе с сероводородной зоной и строит разветвленные трубки. Морфотип с Филипповских садков сверлит ходы в раковинах *L. littorea*. Материал был зафиксирован в 4% формалине и в 96% EtOH. Была исследована морфология образцов с использованием методов световой и сканирующей электронной микроскопии, также был проведен молекулярно-генетический анализ последовательностей митохондриального гена 16S и ядерных генов 18S и 28S.

Морфологические различия двух морфотипов *Polydora cf. ciliata* заключаются в размерах и окраске тела, в расположении железистых мешков на вентральной стороне тела, а также в строении специализированных утолщенных щетинок на пятом модифицированном сегменте. Результаты молекулярно-генетического анализа показали, что морфотипы *P. cf. ciliata* из бухты Биофильтров и с Филипповских садков образуют одну кладу, однако находятся на некоторой дистанции друг от друга, причем дистанции сохраняются по всем трем генам. Наличие и морфологических, и генетических различий между морфотипами позволяет предполагать, что они относятся к двум разным видам.

The *Polydora cf. ciliata* Johnston, 1838 species complex (Annelida, Spionidae) from the White Sea

Bratchikova Yu.^{1*}, Syomin V.², Neretina T.³, Kolbasova G.¹, Krasnova E.¹, Tzetlin A.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

² Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

³ Lomonosov Moscow State University, Pertsov White Sea Biological Station

* e-mail: bratchikova.yu.a@gmail.com

Two morphotypes of *Polydora cf. ciliata* Johnston, 1838 from the White Sea were studied. The first one is tube-dwelling, inhabiting a silted substrate, while the second is a shell-boring and is associated with *Littorina littorea* (Linnaeus, 1758). The results obtained show the presence both of morphological and genetic differences between these morphotypes, which makes it possible to consider them as two different species.

Description of a new species from the genus *Tenuibiotus* (Tardigrada) from Spitsbergen

Tsvetkova A. *, Tumanov D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

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

Tardigrada, also called water bears, are a group of microscopic segmented animals that are known for their ability to withstand extreme conditions in cryptobiotic state. They inhabit aquatic biotopes from abyssal depths of the ocean to mountain tops. The phylum currently comprises slightly more than 1400 species (Degma et al., 2022).

In recent years, investigations involving molecular data along with the traditional morphological approach revealed unexpected diversity within most of the tardigrade taxa. Now the old paradigm of the wide distribution of polymorph species has shifted, as newer investigations using a combined approach revealed the presence of numerous local species, poorly morphologically differentiated but clearly discernible using methods of molecular taxonomy.

A species group, now known as the genus *Tenuibiotus*, was initially isolated as a “tenuis-group” within the species-rich, considered to be polymorphous genus *Macrobotus* by Maucci (1988). Named after *Macrobotus tenuis* (Binda & Pilato, 1972) this group was isolated on the basis of claw morphology and several other morphological characteristics. Pilato & Lisi (2011) instituted a new genus *Tenuibiotus* which included species of the “tenuis-group”, mainly on the basis of claw morphology. The monophyly of the genus was later supported by molecular data (Stec & Morek, 2022).

Spitsbergen archipelago is a high arctic territory with a relatively long history of tardigrade fauna research. The first investigations of the tardigrades of Spitsbergen took place in the early 20th century and more than 30 papers on the subject have been published to date. Several recent publications were devoted to integrative redescriptions of old species, described from Spitsbergen in the beginning of 20th century. It was shown that even in such relatively small territory several complexes of closely related and morphologically similar species can be found, which can be considered as evidence of the intensive Tardigrada speciation process.

In this work, we describe *Tenuibiotus yelisei* sp. nov. from Spitsbergen. Our study has involved both classical taxonomic methods, which include morphological and morphometric analyses conducted with the use of light and scanning electron microscopy, and genetic analysis based on four molecular markers (three nuclear: 18S rRNA, 28S rRNA, ITS-2, and one mitochondrial: COI). The new species is most similar to two other species that were previously described from Spitsbergen and Greenland — *T. voronkovi* (morphologically) and *T. zandrae* (genetically).

Fine morphology of jaw apparatus of *Scoletoma fragilis* (Lumbrineridae, Eunicida, Annelida)

Koroleva A.^{1*}, Tzetlin A.^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

² Lomonosov Moscow State University, Pertsov White Sea Biological Station

* e-mail: anyakor99@gmail.com

Eunicida is a group of annelids characterized by complex jaw apparatuses and includes seven extant families and even more extinct Paleozoic groups. By origin, jaw plates are modified pharynx cuticle hardened by scleroproteins and, in most families, mineralized with calcium carbonate. The eunicidan jaw apparatuses consist of ventral paired mandibles and dorsolateral rows of maxillae. Jaw morphology is used in the classification of Eunicida and especially important for fossil groups because, in most cases, fragments of their jaws (scolecodonts) are the only material for describing the species. The process of maxillae growth as a rigid, non-stretching structure with a complex shape is interesting. For several eunicidan families, the shedding of maxillae with parallel growth of new ones is described. Moreover, it is known that the shape and number of maxillary plates can change significantly during ontogeny. Lumbrineridae is one of the families in which the development and growth of the jaws are almost unstudied. To date, there is no evidence of jaw replacement in any member of this group, which raises the question of the possibility of continuous growth of the jaw apparatus.

We study fine morphology of the jaw apparatus of White Sea lumbrinerid *Scoletoma fragilis* (O.F. Müller, 1776) in attempt to answer this question. All specimens were collected at the WSBS in 2016–2021 (including the WSBS zoological museum collection). The fine morphology of *S. fragilis* pharynx was studied using light microscopy, electron microscopy (SEM and TEM), and microCT.

All the individuals studied had similar numbers and proportions of maxillary plates. We did not find any evidence of maxillae replacement. The fine structure of adult worms' maxillae differs in different parts of the jaw. The thick jaw plates consist of three layers. The outer one is scleroprotein level without mineralization. The intermediate level is the thickest and is mineralized with calcite. The innermost level has live microvilli in the collagen grid and may be very thin. Elastic parts of maxillae have structure that is not described in the literature. It is characterized by heterogeneous sclerotization with a collagen grid and microvilli between sclerotized areas. The maxillae of juvenile worms are homogenous and unmineralized, with a single sclerotized layer underlayed by a thinner collagen layer with microvilli. Based on the data found, we suggest the possibility of continuous growth of maxillae in *S. fragilis* due to zones with heterogeneous sclerotization.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant № 21-14-00042.

Ultrastructure of the frontal end of the *Arctostemma arcticum* (Nemertea, Monostilifera)

Likhacheva G. *, Cherneva I.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

* e-mail: lihagayka@gmail.com

Nemertea is a phylum of non-segmented worms. The typical features of this diverse group are: an everting proboscis located in a fluid-filled cavity (rhyndocoel); a ring-shaped brain surrounding the proboscis; a circulatory system, which is not homologous to other Trochophorates, but is a modified coelome. Nemerteans' morphology is poorly studied. Due to the difficulties of taxonomy, characteristics of the one species could be attributed to the different common species. Even nowadays some mistakes can happen.

Nemerteans have cephalic glands in the front of the head. They are not studied enough, but for now researches distinguish three types of these glands: frontal gland, submuscular gland and the cephalic glands (Chernyshev, 2005). They can merge, and homology of the glands even in one family is difficult to establish. There is an opinion, that the frontal gland develops from the part of the larval apical organ. Nemerteans which lack frontal organ usually don't have frontal gland too. The actual cephalic glands are more numerous and more often located diffusely. The submuscular gland initially lies directly under the musculature of the body wall and open outwards through the integument (Chernyshev, 2011).

Arctostemma arcticum, hoplonemertean species, lack frontal organ and so frontal gland. Also, submuscular gland is not found in this species. Cephalic glands are located in the frontal side of the head, towards to the brain, near rhyndostomodeum. They are very diffusive. Likewise, there are some structures in the head of the *A. arcticum* towards the brain, near the eyes. These structures are recognizable on a living nemerteans. They are looking like a light-reflecting wrapping around the cerebral organ and brain. In mature nemerteans this structure becomes visually bigger.

We studied hemi-thin and ultrathin histology of the front end of the *A. arcticum*. We used the transmission electronic microscopy to see, which types of cells form this structure. In the mature specimen the cells have a big vacuole. The vacuole occupies most of the cell. Other organoids we didn't found on our sections. In the immature nemertean membrane organoids can be observed. The cells are full of the small vacuoles. Moreover, inclusions inside of the three-membraned structures are found. For now, we can say that it looks like in immature nemerteans this structure performs a secretory function, but in mature nemerteans the secretory process decreases. To check this hypothesis, we plan to make a specific staining on the semi-thin sections.

Features of the systematics of macrotaxa of branchiopods (Crustacea: Branchiopoda)

Antonovskaia K.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Laboratory of Ecology of Aquatic Communities and Invasions, Moscow

e-mail: antonovskaya.kn@gmail.com

It is believed that branchiopods (Branchiopoda) originated in the Cambrian and were among the first arthropods that made it possible to conquer continental waters. Modern branchiopods are one of the most widespread and extremely diverse groups of plankton, benthos, and even neuston invertebrates in inland waters of all types in every continent, including the oases of Antarctica and even reservoirs of the arctic deserts. At present, the Branchiopoda is predominantly considered at the rank of class, which includes nine living and four extinct orders. The monophyly of the class has been confirmed by both morphological and molecular data. The orders within the Branchiopoda and the Cladoceromorpha group, which combines Cladocera and Cyclestherida, have also been confirmed to be monophyletic. At the same time, the Anostraca group turned out to be sister to all the other Branchiopoda.

One of the most interesting types of evidence of the complex evolutionary history of Branchiopoda and Cladocera in particular is the unexpectedly high diversity of gene arrangement types in the mitochondrial genome. As well, recently has been shown the extremely important role of homoplasies in the formation of the diversity of feeding types and their corresponding body plans in Cladocera. Such gene-swapping events are rare enough to suggest their importance in establishing evolutionary relationships between long-dispersed groups. Despite significant progress in understanding the evolution of Cladocera, many questions concerning the relationship of suprageneric taxa within this group remain unresolved. For instance, morphological data do not always agree with phylogenetics. In addition, a more thorough study of the embryonic development of representatives with different types of body organization is needed. I have studied the features of muscle development of *Daphnia (Ctenodaphnia) magna* Straus, 1820 (Cladocera: Daphniidae). Further, I'm going to investigate muscle development of other Cladoceran families' representatives, which differ in ecological confinement. Data from comparative embryology are essential for understanding the mechanisms of transition between different ecological niches that independently occurred in different groups within the Branchiopoda, and, ultimately, for the detailed development of taxonomy within large Branchiopoda groups.

I am grateful to my colleagues from IEE RAS and IDB RAS for the provided material and assistance in scientific research. The work is supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-14-00258.

Строение нервной системы мантии брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Rhynchonelliformea: Rhynchonellida)

Ратновская А.В.

Московский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва
e-mail: belka190199@gmail.com

Брахиоподы — тип морских беспозвоночных, тело которых заключено в двустворчатую раковину. Внутри раковины расположена обширная мантийная полость, выстланная эпителиальной складкой — мантией, которая выполняет ряд важных функций: секреция раковины, создание токов воды в мантийной полости, газообмен, запас питательных веществ. Кроме того, по краю мантии большинства брахиопод расположен ряд щетинок, которые выполняют сенсорную функцию. Однако строение нервной системы мантии брахиопод до сих пор остается неизученным, в особенности для представителей отряда Rhynchonellida замковых брахиопод, представители которого в своем строении сохранили ряд плезиоморфных черт.

Материалом для настоящей работы послужили ювенильные и взрослые особи *Hemithiris psittacea* (Gmelin, 1790), собранные в Кандалакшском заливе Белого моря в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ на глубине 9 м. Методы исследования включали трансмиссионную электронную микроскопию и иммуноцитохимию в сочетании с конфокальной лазерной микроскопией (антитела к серотонину).

Нервная система мантии *H. psittacea* состоит из радиальных мантийных нервов и кольцевого мантийного нерва, который идет вдоль края мантии. Радиальные мантийные нервы сильно ветвятся и впадают в кольцевой нерв мантии. Все мантийные нервы *H. psittacea* проходят базисэпителиально. Кольцевой мантийный нерв содержит перикарии и многочисленные нервные отростки двух типов. Отростки первого типа наиболее многочисленны и содержат электронно-светлую цитоплазму. Нервные отростки второго типа заполнены электронно-плотной цитоплазмой и гораздо крупнее отростков первого типа (до 1 мкм в диаметре). Также впервые для брахиопод был обнаружен нерв, проходящий в наружном эпителии мантии в задней части тела животного под раковинной. Вероятно, он регулирует секреторную активность клеток наружного эпителия. Отдельный интерес представляют расположенные у основания щетинок воротничковые рецепторы, впервые найденные у представителей отряда Rhynchonellida и связанные с кольцевым мантийным нервом. Вероятно, эти рецепторы служат для передачи механического сигнала от щетинок в подглоточный ганглий. Ранее рецепторные клетки у основания щетинок были обнаружены у представителей отряда Terebratulida. Таким образом, рецепторный комплекс, состоящий из щетинки и рецепторной клетки, является синапоморфией всего подтипа Rhynchonelliformea.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 18-14-00082-Р.

Mantle nervous system structure in brachiopod *Hemithiris psittacea* (Rhynchonelliformea: Rhynchonellida)

Ratnovskaya A.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow
e-mail: belka190199@gmail.com

The structure of the mantle nervous system in brachiopod *Hemithiris psittacea* from the White Sea was studied. The nervous system in the brachiopod mantle consists of radial mantle nerves and marginal mantle nerve. Also, the collar receptors were found at the base of the setae.

Анатомия и гистология половой системы глубоководной хетогнаты *Eukrohnia hamata*

Уразаева А.О.^{1*}, Кособокова К.Н.², Темерева Е.Н.¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

* e-mail: urazaevanas@gmail.com

Chaetognatha — двусторонне-симметричные многоклеточные животные, повсеместно распространенные в Мировом океане. Морские стрелки питаются веслоногими и ветвистоусыми рачками, составляя важное звено пищевой цепи между зоопланктоном и рыбами. Биология морских стрелок изучена на некоторых видах, однако о глубоководных представителях, их строении и образе жизни известно мало. Для понимания особенностей репродуктивной биологии требуются данные о строении половой системы. В работе изучено строение половой системы у глубоководного вида *Eukrohnia hamata* (Möbius, 1875).

Хетогнаты — протерандрические гермафродиты (Terazaki & Miller, 1982). Мужская половая система *E. hamata* расположена в хвосте и представлена парными семенниками, семенными протоками и семенными пузырьками (Tokioka, 1939; Pierrot-Bults, 1976; Bergey et al., 1994). Незрелые семенники представляют собой короткие компактные тяжи, в которых герминативная зона располагается в заднем конце. Зрелый семенник заполнен сперматофорами и формирует вентральную и дорзальную доли, вдающиеся в туловищный целом, что придает туловищно-хвостовой сегте сложную форму. Такая дольчатая структура мужских гонад ранее не была описана у морских стрелок. Наличие долей семенников несколько увеличивает их объем, что, вероятно, важно для увеличения количества производимых гамет и успешного оплодотворения.

В продольном мезентерии хвоста были впервые обнаружены два кровеносных сосуда — вентральный и дорзальный, предположительно, обеспечивающие поступление питательных веществ к семенникам. В районе септы эти сосуды вливаются в задний кровеносный синус.

Парная женская половая система располагается в туловище и состоит из трех частей: яичников, овиспермадуктов (женских гонодуктов) и наружных половых воронок, окружающих женские половые отверстия. Наружные воронки располагаются на поверхности тела дорзолатерально, над плавниками. У *E. hamata* они формируют ресничные лопасти, которые, вероятно, помогают улавливать большее количество сперматофоров во время спаривания. Эпителий воронки формирует клапан, отгораживающий полость овиспермадукта от внешней среды.

Овиспермадукт и яичник представляют собой единую длинную трубку. Стенка овиспермадукта образована двумя слоями эпителия: внешним слоем столбчатых клеток и внутренним синцитиальным слоем, содержащим многочисленные секреторные везикулы. На шестой стадии женские половые протоки заполняются спермой, увеличиваются в диаметре и претерпевают некоторые изменения. Вблизи яичника в овиспермадукте видны группы спермиев (возможно, бывшие сперматофоры), тогда как основная часть овиспермадукта заполнена гетерогенным содержимым, в котором видны отдельные сперматозоиды. При этом внешний слой эпителия овиспермадукта уплощается, а внутренний отслаивается и на протяжении большей части овиспермадукта дегенерирует. Вероятно, его секрет каким-то образом участвует в высвобождении сперматозоидов из сперматофоров.

Anatomy and histology of the reproductive system of the deep-sea chaetognath *Eukrohnia hamata*

Urazaeva A.^{1*}, Kosobokova K.², Temereva E.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

* e-mail: urazaevanas@gmail.com

A deep-sea chaetognath *Eukrohnia hamata* has some unique structural features of the reproductive system, such as the presence of ciliary funnels around the female genital openings and the lobed structure of mature testes. We assume that these adaptations increase the success rate of fertilization during copulation.

Какие *Bivalvia* болеют трансмиссивным раком?

Кожин И.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург
e-mail: kozhinivan@yahoo.com

Трансмиссивная неоплазия («заразный рак») — это неопластическое заболевание, передающееся от особи к особи путем физического переноса раковых клеток (Murgia et al. 2006). Генетически клетки «заразного рака» родственны тому организму, у которого он возник впервые. Линии такого рака ранее были известны только у собак (canine transmissible venereal tumor) и тасманийских дьяволов (facial tumor of Tasmanian devil) (Nowinsky. 1876; Stammnitz et al., 2018), однако недавно у двустворчатых моллюсков было описано достаточно большое число линий трансмиссивного рака, а некоторые из этих линий способны поражать несколько видов *Bivalvia*. Этот факт заставляет по-новому взглянуть на распространение данной болезни и связанные с этим потенциальные угрозы.

У двустворчатых моллюсков *Bivalvia* трансмиссивный рак впервые обнаружили в 2015 году у *Mya arenaria* (Metzger et al., 2015). Эту болезнь назвали трансмиссивной неоплазией двустворчатых моллюсков (BTN — Bivalve Transmissible Neoplasia). Феноменологически BTN является диссеминированной неоплазией (DN), то есть раком гемолимфы. Двустворки болеют как трансмиссивной неоплазией, так и спонтанной («обычный рак»). Считается, что трансмиссивная неоплазия эволюционировала из спонтанной (Metzger et al., 2016).

С 2015 года BTN была обнаружена еще у восьми представителей *Bivalvia* (Metzger et al., 2016, Hammel et al., 2022, Garcia-Souto et al., 2022, Michnowska et al., 2022): *Mytilus trossulus*, *Mytilus edulis*, *Mytilus chilensis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Cerastoderma edule*, *Politiitapes aureus*, *Venus verrucosa* и *Macoma balthica*. Всего описано восемь независимых линий BTN: по две у *C. edule* и *Mytilus* spp. Для остальных упомянутых выше видов на сегодня описано по одной линии BTN.

Неизвестно, каким образом BTN поражает моллюсков и распространяется между особями, однако для мидий экспериментально было выяснено, что при стрессовых условиях их гемоциты могут выходить во внешнюю среду и проникать в организмы других особей (Caza et al., 2020).

Глядя на список моллюсков, у которых найден BTN, можно сказать следующее. Эти виды относятся к пяти семействам четырех отрядов, то есть не являются близкородственными. Они обитают как в сублиторали, так и на литорали, где образуют плотные скопления. Наконец, все они являются фильтраторами. Других общих черт у них выявить не удалось.

В рамках этой работы был проведен метаанализ (25 источников в google scholar: bivalve transmissible neoplasia, disseminated neoplasia, hemocyte, histopathology). Было обнаружено еще 11 видов, болеющих DN. Эти виды — первые кандидаты на проверку наличия у них трансмиссивного рака.

Which *Bivalvia* have transmissible cancer?

Kozhin I.

Saint Petersburg University, Ichthyology and hydrobiology department, Saint Petersburg
e-mail: kozhinivan@yahoo.com

A literature meta-analysis was conducted to identify the potential host species of bivalve transmissible neoplasia (BTN). Disseminated neoplasia (DN) which could theoretically be associated with BTN has been noted in 11 species for which the BTN hypothesis has yet to be tested.

Новый представитель рода *Flabellula* (Tubulinea, Leptomyxida) из глубин Белого моря

Кулишкин Н.С. *, Суркова А.А., Смирнов, А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

* e-mail: development.bio@gmail.com

Амебы рода *Flabellula* — исключительно морские организмы, способные принимать веерообразную локомоторную форму (Page, 1983; Smirnov et al., 2017). Представителей этого рода можно найти в верхнем слое морского донного грунта, однако, существуют данные о нахождении этих организмов в мантийных полостях моллюсков, а также кишечниках различных морских беспозвоночных (Tuml et al., 2018). Для одного вида — *F. baltica* — показана способность к агамному слиянию, однако, авторы приводят только рисунки этого процесса (Smirnov, 1999). Штамм F35WS был изолирован из верхнего слоя донного грунта, собранного бентосным дночерпателем с глубины 35 метров в окрестностях острова Пезжостров (Керетский архипелаг, Белое море).

Представители штамма F35WS — веерообразные в движении амебы. Широкая зона гиалоплазмы окружает гранулоплазму с латерофронтальных сторон. Во время перемещения на заднем конце клетки образуются многочисленные адгезивные филаменты. Обычно в гранулоплазме содержится несколько крупных кристаллов неправильной формы. Ядра этих клеток в основном оптически прозрачные, лишь на некоторых амебах удается рассмотреть крупное ядрышко. Организмы штамма F35WS способны образовывать мелкие сферические цисты.

На основании данных световой микроскопии и филогенетического анализа, проведенного по последовательностям генов 18S рРНК и субъединицы I цитохром с-оксидазы, мы установили, что штамм F35WS представляет собой новый вид рода *Flabellula* и должен быть систематически описан. Впервые для амеб этого рода были получены микрофотографии процесса агамного слияния. Однако, они не отображают судьбу ядерного материала слившихся клеток из-за сложности наблюдения за этими организмами.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий». Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ 20-14-00195.

New representative of the genus *Flabellula* from a depths of White Sea

Kulishkin N.*, Surkova A., Smirnov A.

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

* e-mail: development.bio@gmail.com

We isolated a strain F35WS from the bottom sediment collected from a depth of 35 meters near Pezhostrov Island (Keret Archipelago, White Sea). According to the light-microscopic and phylogenetic data, representatives of this strain is a new species to science and should be systematically described.

Проблемы идентификации видов текамебид (Amoebozoa; Discosea; Thecamoebida) на морфологическом и молекулярном уровнях

*Мезенцев Е.С. *, Суркова А.А., Кулишкин Н.С., Таймарова К.М., Смирнов А.В.*

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

Идентификация, разграничение и описание видов голых лобозных амёб была и остается крайне сложной проблемой. Амёбы не имеют постоянной формы тела, количество морфологических признаков доступных для описания невелико, а морфометрические параметры демонстрируют высокий уровень изменчивости. До недавнего времени, семейство Thecamoebidae (текамебиды) считалось одной из групп (если не единственной), в которой виды можно достоверно различить, используя лишь методы световой микроскопии; на основании морфологии движущейся клетки и строения ядра. Проведенные нами исследования показали внутривидовую изменчивость организации ядра. Проявляться такая изменчивость может и в небольших изменениях организации внутриядерных структур в пределах общего паттерна у одиночных клеток (например, у вида *T. foliovenanda*), и в более существенных — вплоть до закономерных изменений в морфологии ядра у большинства клеток в культуре с течением времени или от перемены методов культивирования (*T. astrologa*). Анализ последовательностей гена 18S рРНК, широко применимого для идентификации и классификации лобозных амёб, показал наличие близких видов (sibling species) для четырех широко распространенных видов текамебид. Такие виды имеют тонкие морфологические различия, либо вообще неразличимы с помощью световой и электронной микроскопии. Обнаружение изменчивости важнейших определительных признаков, а также скрытого разнообразия, указывает на то, что молекулярные методы являются более надежным способом идентификации и различения видов текамебид.

Предложение различать виды молекулярными методами поднимает вопрос о стабильности используемых маркерных последовательностей. Также идентификация текамебид осложняется отсутствием последовательностей маркерных генов для целого ряда видов, типовые культуры которых утрачены из международных коллекций. Попытки получить сиквенсы гена 18S рРНК идентичными методами для некоторых культур не дали положительного результата, при использовании как стандартных методик ПЦР и секвенирования, так и при использовании методов NGS. Литературные данные и наш опыт указывают на несколько возможных причин существования «белых пятен» в молекулярных данных текамебид, несмотря на их широкое распространение. В частности, в некоторых родах текамебид отмечена тенденция к наличию продолжительных инсерций в гене 18s рРНК, а также тенденции к сильному изменению полуконсервативных и консервативных участков гена, что в крайних случаях не позволяет при помощи BLAST идентифицировать полученную последовательность как принадлежащую текамебидам. Последнее также может являться причиной невозможности найти последовательность гена в полногеномных данных.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-14-00195 с использованием оборудования РЦ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ.

Problems of identifying thecamoebid species (Amoebozoa; Discosea; Thecamoebida) at the morphological and molecular level

*Mesentsev Y. *, Surkova A., Kulishkin N., Taimarova K., Smirnov A.*

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg
* e-mail: e.mezentsev@spbu.ru

Recent studies of Thecamoebida have shown the presence of cryptic diversity and polymorphism of some morphological characters, which makes it impossible to identify species only by light microscopic methods. We have noted a number of evolutionary trends in this amoeba group that could make the molecular identification of species also a difficult task.

Морфология и филогенетическое положение амёбы семейства Hartmannellidae (Amoebozoa: Tubulinea), изолированной из Ботанического Сада СПбГУ

Таймарова К.М.^{1}, Мезенцев Е.С.¹, Камышацкая О.Г.^{1,2}*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Институт Цитологии РАН, лаборатория Цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

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

В различных местообитаниях широко распространены амёбы, которых можно отнести к монотактическому морфотипу: моноподиальные амёбы, субцилиндрические в поперечном сечении, со единым направленным током цитоплазмы. Такую форму принято также называть limax-type (Page, 1962). Большинство известных лимаксных амёб, в современной системе входят в состав семейства Hartmannellidae (Amoebozoa: Tubulinea: Euamoebidae). Однако такие формы встречаются и в пределах Discosea (например Volkova and Kudryavtsev, 2021; Kudryavtsev et al., 2022). Небольшое количество морфологических признаков практически не позволяет идентифицировать лимаксных амёб только методами световой микроскопии. В связи с чем, молекулярные методы являются более надежным и удобным инструментом для идентификации и классификации подобных организмов.

В рамках нашей работы по изучению биоразнообразия лобозных амёб почвы ботанического сада СПбГУ была изолирована культура мелких лимаксных амёб. При активной локомоции клетки принимают вытянутую с гладкими очертаниями форму, двигаются моноподиально и имеют бульбовидный урод. При смене движения амёбы поворачиваются всей клеткой целиком, либо на основной ее части сбоку формируется псевдоподия, которая в итоге становится лидирующей. В цитоплазме можно наблюдать одно везикулярное ядро, многочисленные пищеварительные вакуоли, одну или две сократительные вакуоли, а также многочисленные сферические включения. Никаких кристаллов или других светопреломляющих структур обнаружено не было. В нашей культуре амёбы образуют цисты с толстой оболочкой. Анализ морфологических признаков, полученных методами световой микроскопии, позволяет идентифицировать исследуемых амёб как представителей семейства Hartmannellidae (Amoebozoa: Tubulinea). Однако, внутри этой группы отдельные рода имеют очень тонкие и часто неясные различия, и для определения родовой принадлежности, имеющихся данных явно недостаточно.

Для более точной идентификации нами была получена нуклеотидная последовательность гена 18S рРНК. По результатам молекулярно-филогенетического анализа изученные амёбы располагаются среди видов рода *Copromyxa*, образуя единую кладу с видами *Copromyxa sp. PKD 2011* и *Copromyxa laresi ZEB1*. Прямое сравнение последовательностей и анализ идентичности с ближайшими соседями по дереву, показал значительные различия, имеющие сложную структурную природу.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 20-14-00195. При выполнении работы использованы технические возможности ресурсных центров «Культивирование микроорганизмов», «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Вычислительный центр СПбГУ» и «Биобанк» научного парка СПбГУ.

Morphology and phylogenetic position of the amoeba family Hartmanellidae (Amoebozoa: Tubulinea) isolated from the Botanical Garden of Saint Petersburg University

Taimarova K. M.^{1}, Mesentsev Y. S.¹, Kamyshatskaya O. G.^{1,2}*

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Institute of Cytology of RAS, Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Saint Petersburg

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

We isolated small limax amoebae from the soil of the Botanical Garden of Saint Petersburg University. We carried out a light microscopic and molecular study. The phylogenetic analysis based on the 18S rRNA gene sequence shows that these amoebae belong to the genus *Copromyxa*. However, the sequence has structural differences from other species of the family.

Полиморфизм у центрохелидных солнечников *Acanthocystis turfacea*: роль симбиоза с хлореллами

Полузеров С.А.

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

Центрохелидные солнечники (Haptista, Centroplasthelida) — группа флотирующих и прикрепленных амебодных протистов, для которых характерно наличие особого центра организации микротрубочек — центропласта и тонких, неветвящихся псевдоподий — аксоподий. Для подавляющего большинства центрохелид характерно наличие внешних скелетных элементов: кремниевых чешуек и/или органических спикул. Структура кремниевых чешуек считается видоспецифичной. Представители таксона могут населять пресные и морские водоемы, верховые болота. При этом они в основном ассоциированы с верхним слоем придонного осадка или водной растительностью.

Acanthocystis — род центрохелидных солнечников из семейства Acanthocystidae. Для солнечников этого рода характерно наличие пластинчатых чешуек (plate-scales), расположенных тангентально по отношению к клетке, и радиальных кремниевых чешуек (spine-scales), расположенных по радиусам. Помимо этого, в отличие от многих других центрохелидных солнечников, представители рода *Acanthocystis* способны перемещаться по субстрату перекатывающимися движениями. Виды рода *Acanthocystis* встречаются как в минерализованных, так и в пресноводных местообитаниях.

Два пресноводных вида рода, *A. penardi* и *A. turfacea*, могут иметь фотосинтезирующих симбионтов — зеленых водорослей хлорелл (Trebouxiophyceae). Представители, которые содержат водоросль, отличаются от форм, лишенных хлорелл, более крупными размерами клетки и покровных структур. На данный момент остается непонятным, влияет ли наличие симбионтов-хлорелл на размер клеток *A. turfacea* или же, на самом деле, мы имеем дело с двумя отдельными видами, имеющими очень похожие чешуйки, но различающимися размерами клетки и чешуек и наличием, либо отсутствием симбионтов-хлорелл.

Нами были отобраны пробы донного осадка из водоемов Ленинградской области и севера Карелии. Далее эти пробы были высеяны в чашки Петри на питательную среду, в некоторых из которых были найдены солнечники *A. turfacea*, как содержащие хлореллы, так и не имеющие симбионтов. Один из солнечников, содержащих хлореллы, был выделен в чистую культуру. Помимо этого, была описана культура *A. turfacea*, не содержащая хлореллы, особи в которой отличались более крупными размерами от ранее описанных штаммов, не содержащих хлореллы. На изолированных штаммах *A. turfacea* из водоемов Ленинградской области было показано, что после длительной инкубации при отсутствии освещения протисты сохраняют симбионтов, но в меньшем количестве, чем штаммы, находившиеся на свету. Исходя из этого, можно предположить, что водоросли не являются пищей солнечника.

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ № 20-74-10068 и ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ.

Taxonomy of *Acanthocystis* (Haptista: Centroplasthelida) and the phenomenon of symbiosis with chlorellae

Poluzerov S.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg.
e-mail: poluzerov24@gmail.com

Some species of *Acanthocystis* like *A. turfacea* sometimes contain symbiotic *Chlorella*-algae (Trebouxiophyceae). The symbiont-containing forms are larger and possess larger scales. Currently it is unclear if the algae symbiosis is a facultative phenomenon causing the cells to enlarge or symbiont-containing and symbiont-free forms actually represent different species. The criteria for species distinction in *Acanthocystis* are discussed.

Паразитизм и смежные явления среди динофлагеллят (Dinoflagellata, Alveolata)

Прилуцкий М.Е. *, Паскерова Г.Г.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

* e-mail: st086753@student.spbu.ru

Динофлагелляты — одноклеточные эукариоты, демонстрирующие при общем плане строения удивительное разнообразие по своей биологии и экологии. Для этих протистов характерно наличие уникальных покровов (амфиесма или тека), двух неравных жгутиков, особого ядра (динокариона), митохондрий с трубчатыми кристами, пластид. Выделяют несколько филогенетических линий динофлагеллят, показывающих разные эволюционные тенденции в становлении симбиотических и других отношений с разнообразными эукариотическими организмами. Перкинсиды (Perkinsidae) — сестринская к динофлагеллятам группа, объединяющая внутриклеточных паразитов моллюсков. Базальные представители динофлагеллят Оксиррисы (*Oxvrrhis* sp.) — свободноживущие хищники, фагоцитирующие целиком планктонные организмы. Синдинеи (Syndiniales) — динофлагелляты, паразитирующие в других протистах, в разнообразных водорослях, рыбах, ракообразных, книдариях. Ноктилюцеи (Noctilucales) представляют собой свободноживущих хищников, которые поглощают различные планктонные организмы и имеют фотосинтезирующих симбионтов. Типичные динофлагелляты (Dinophyceae), будучи в большинстве своем фотосинтезирующими автотрофами, тем не менее, включают существенное количество хищников и симбионтов, взаимодействующих с разнообразными эукариотическими организмами: *Paulsenella* spp. и *Pfiesteria* spp. — токсичные динофлагелляты, питающиеся путем мизоцитоза на протистах и, в некоторых случаях, даже на многоклеточных; *Haplozoon* spp. — эндопаразиты полихет, прикрепляющиеся с помощью стилетоподобной органеллы к эпителию кишки хозяина; *Symbiodinium* spp. — облигатные внутриклеточные симбионты-мутуалисты кораллов. Наши собственные данные по ранее неизвестной динофлагелляте, паразитирующей на наружной поверхности хозяина-полихеты и входящей, по предварительным молекулярно-биологическим данным, в состав клады Dinophyceae, позволяют предложить сценарий становления эндопаразитизма (на примере *Haplozoon*) от хищничества с мизоцитозным питанием (*Paulsenella*, *Pfiesteria*) через эктопаразитизм (Dinoflagellata gen. sp.). Эволюционные пути становления паразитизма у динофлагеллят конвергентны таковым у споровиков (Sporozoa) и апикомплексоподобных протистов (Apicomplexa sensu lato).

Проект выполняется в РЦ СПбГУ (№109-29396).

Parasitism and other associated phenomena in dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata)

Prilutsky M. *, Paskerova G.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

* e-mail: st086753@student.spbu.ru

Dinoflagellates are single-celled eukaryotes that show amazing diversity in their biology and ecology. We analyzed the distribution of predation and parasitism among dinoflagellates. Drawing on our own material on a previously unknown ectoparasitic dinoflagellate, we propose a way of the origin and spread of parasitism in dinoflagellates.

Идентификация и характеристика бактериальных эндосимбионтов эвригалинной инфузории

Paramecium nephridiatum

Максимова М.С.^{1*}, Курсачева Е.С.¹, Бенкен К.А.^{1,2}, Сабанеева Е.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра цитологии и гистологии, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Ресурсный центр микроскопии и микроанализа (РЦММ), Санкт-Петербург

* e-mail: mariamaximovabio@gmail.com

Инфузории часто выступают в качестве хозяев для широчайшего спектра симбиотических микроорганизмов, как одноклеточных эукариот, так и архей или бактерий. В этом списке особое место занимают бактерии, способные занимать разные ниши даже в пределах одной и той же клетки. Существуют бактери-эпителии, живущие на поверхности клетки-хозяина, и бактерии-эндоцитобионты, которые могут населять почти все внутренние компартменты протиста. Благодаря своим относительно большим размерам внутриядерные бактерии рода *Holospora* впервые были описаны у инфузорий рода *Paramecium* еще в XIX веке. Сегодня эти бактерии остаются наиболее хорошо изученными эндосимбионтами парамеций. Их выделяют в семейство *Holosporaceae* (порядок *Holosporales*), куда также входят недавно описанные *Holospora*-подобные бактерии (HLB).

Клоны парамеций BMC21-9-1 и BMC21-8a-1 были выведены из проб, взятых в литоральной ванне острова Средний губы Чупа (Белое море, 66.282500, 33.709444) в 2021 году. Выдвинутое нами на основе морфологических критериев предположение о принадлежности данных клонов к виду *Paramecium nephridiatum* было подтверждено анализом последовательности гена первой субъединицы цитохромоксидазы (COXI). Прижизненное наблюдение с использованием световой микроскопии в режиме контраста Номарского выявило гиперинфекцию макро-нуклеусов инфузорий крупными палочковидными бактериями, морфологически сходными с представителями *Holosporaceae*, а также наличие в цитоплазме более мелких бактерий вне пищеварительных вакуолей. При разрушении клетки хозяина ядро сохраняло целостность, выходя во внешнюю среду в виде «клубка». Угнетенное состояние культуры, присутствие в ней сравнительно мелких инфузорий и нерасходящихся «двойных» клеток позволили предположить, что симбионт нарушает деление хозяина, чем характеризуются некоторые HLB. Исследование эндонуклеобионтов с помощью атомно-силового микроскопа выявило свойственное для HLB отсутствие жгутиков и отсутствие инфекционного кончика, характерного для инфекционных форм холоспор, а также хорошо выраженную неровность поверхности. Исследование особенностей ультраструктурного строения симбиотической системы с помощью трансмиссионной электронной микроскопии подтвердило наличие двух видов грамотрицательных бактерий в цитоплазме и макро-нуклеусе инфузорий, причем в последнем виден процесс лизиса бактерий.

Для предварительного определения групповой принадлежности внутриядерного симбионта была проведена флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH) с олигонуклеотидным зондом к гену 16S рРНК семейства *Holosporaceae*. Секвенирование нуклеотидных последовательностей фрагмента гена 16S рРНК и последующий поиск соответствий в системе BLAST установили принадлежность (99,4%) эндонуклеобионтов к виду "*Ca. Gortzia yakutica*" (сем. *Holosporaceae*), недавно описанному у инфузории *P. putrinum*. Для подтверждения того, что полученная последовательность принадлежит внутриядерному эндосимбионту, а не является контаминацией, проведена флуоресцентная гибридизация *in situ* с видоспецифичным зондом Gyak567.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 22-24-00335) с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ: «Центр микроскопии и микроанализа» и «Культивирование микроорганизмов».

Identification and characterization of bacterial endosymbionts of the euryhaline ciliate *Paramecium nephridiatum*

Maximova M.^{1*}, Kursacheva E.¹, Benken K.^{1,2}, Sabaneyeva E.¹

¹ Saint Petersburg University, Department of Cytology and Histology, Saint Petersburg

² Saint Petersburg University, Resource Center Microscopy and Microanalysis (RCMM), Saint Petersburg

* e-mail: mariamaximovabio@gmail.com

Ciliates can host various microorganisms. Bacteria of genus *Holospora* and their relatives (*Holospora*-like bacteria, HLB) are among the most investigated endosymbionts of ciliates. This is the study of a *Paramecium nephridiatum* clone bearing two bacterial endosymbionts, one of which is '*Ca. Gortzia yakutica*', an HLB recently discovered in *P. putrinum*.

Rhizocephalan interaction with the host's nervous system: morphological adaptations and evolutionary trends

Lianguzova A.^{1,2*}, Arbuzova N.^{1,2}, Lapshin N.¹, Laskova E.¹, Miroljubov A.²

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrates Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

* e-mail: reinhardtlennon@gmail.com

Parasites from different phylogenetic groups (Apicomplexa, Digenea, Acanthocephala) alter their hosts' phenotype. Rhizocephalan barnacles (Cirripedia: Rhizocephala) demonstrate ones of the most intriguing examples of the host manipulation. Rhizocephalans, especially ones from the fam. Sacculinidae and Polyascidae ("Kentrogonida" group), can modify their hosts' morphology and behaviour significantly due to the impact on hosts' physiological processes. Parasitic barnacles are able to feminise male crabs so that infected males become morphologically similar to the ovigerous females and exhibit relevant behavioural patterns.

Integration of rhizocephalans with the host nervous system is presumably crucial in this intimate host-parasite relationship. Modified rootlets of the interna (a tube-like system in the host's hemocoel) penetrate the nervous tissue of the host ganglia. In most studied rhizocephalans, the distal part of the rootlets penetrating the host's nervous tissue is transformed into so called goblet-shaped organs located at the periphery of the host ganglia. The morphology of the goblet-shaped organs varies significantly among representatives of different "kentrogonid" families (Peltogastridae, Peltogasterellidae, Sacculinidae).

In the current study, we focused on the representatives of the family Polyascidae ("Kentrogonida"), *Polyascus polygeneus* (Lützen & Takahashi, 1997) and *Parasacculina pilosella* (Van Kampen & Boschma, 1925). Polyascids represent a sister group to the tree crown of the Rhizocephala, "Akentrogonida", and the latter generally have less effect on the hosts. We described polyascid interna's rootlets invading the crabs' nervous tissue which never form goblet-shaped organs. The neuropil of the crab ventral ganglionic mass contained numerous thin rootlets, morphologically distinct from the trophic ones. These rootlets consisted of one cell layer and had a modified cuticle. In the nervous tissue adjacent to the rootlets, numerous vesicles and microtubules were present. In addition, we studied a representative of the "Akentrogonida", family Thompsoniidae, *Diplothylacus sinensis* (Keppen, 1877). Their rootlets also penetrated the host nervous tissue and the goblet-shaped organs are absent, like in the Polyascidae.

Therefore, the intimate rhizocephalan interaction with the host nervous system probably played a decisive role in the evolution of host-parasite relations. The specialised rootlets associated with the host nervous's system are present in all studied species ("kentrogonids" and "akentrogonids"). Presumably, both goblet-shaped organs and thin rootlets perform similar functions, and goblet-shaped organs were lost in a common ancestor of polyascids and "akentrogonids".

The study was funded by the RSF No 21-74-00018.

Ultrastructure of the sensory papillae in several digeneans from the White Sea

Denisova S.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg
e-mail: sofia.denisova1608@gmail.com

The sensory apparatus of digeneans is usually presented by surface papillae that pass through the tegumental plate and connect with it through septate junctions. It is assumed that monociliated papillae act as tango- and rheoreceptors, polyciliated ones are involved in chemoreception, and non-ciliated papillae are proprioceptors (e.g., Žďárská, Nebesářová, 2003). The detailed ultrastructure of these nerve endings was studied mainly in adult worms and miracidia of a few species. In addition to surface papillae, some digeneans have pigmented and unpigmented eyes (e.g., Rees, 1975). Surprisingly, photoreactions are characteristic of many species in which photoreceptors have not yet been found.

During the morphological investigation of the nervous systems in digeneans, we studied the structure of sensory papillae in daughter sporocysts, cercariae and adults of *Podocotyle* spp. (Opecoelidae), *Renicola parvicaudatus* (Renicolidae), and rediae of *Cryptocotyle lingua* (Heterophyidae). The general morphology of papillae is mainly diverse in adult worms and in cercariae, where different topological groups of papillae differ in the length of cilium and possess specific modifications of surrounding tegument. In *Podocotyle* sp. cercariae the tegumental plate forms a tubular collar that completely surrounds each cilium. In cercariae of *R. parvicaudatus* the wide folded tegumental collars appear in acetabular papillae. In cercariae and adults, sensory endings are often grouped in clusters, externally similar to polyciliated structures. In adult worms, the number of sensory endings increases, and new clusters associated with copulatory organs appear. The studied daughter sporocysts and rediae are not characterized by such modifications; their sensory papillae are uniform. The distribution of surface papillae correlates with the location of the CNS elements. In all life cycle stages, the anterior concentration of nerve endings was detected.

All papillae observed are monociliated nerve endings, and their general structure is uniform. However, they are characterized by a certain set of cytoskeletal elements and cytoplasmic inclusions. The key differences observed were: (i) rootlets morphology, (ii) presence/absence of transverse filaments, (iii) length of dense collars, (iv) type of vesicles, (v) presence/absence of membrane invaginations. The general uniformity of studied sensory papillae impedes the accurate interpretation of their functions, although it is possible to suggest mechano- and/or chemoreception.

The study was supported by RSF project No. 23-24-00046. The collection and primary processing of samples were carried out at the research station "Belomorskaya". The results were obtained using the equipment of the research park of SPbU "Development of molecular and cellular technologies".

Строение хвостовой капсулы цистофорных церкарий (Digenea: Hemiuroidea)

Скобкина О.А.*, Кремнев Г.А., Крупенко Д.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

* e-mail: levuyashyk@mail.ru

Трематоды надсемейства Hemiuroidea — широко распространенные паразиты рыб. Для них характерен треххозяйный жизненный цикл. В первом промежуточном хозяине развиваются церкарии, характеризующиеся своеобразным строением — цистофорные. Хвост этих церкарий образует полую хвостовую капсулу, в которую втянуто тело церкарии, и извергательную трубку, которая используется для заражения второго промежуточного хозяина — членистоногих. Несмотря на общий план строения, цистофорные церкарии очень разнообразны. Их хвостовые капсулы отличаются по форме и могут нести различные придатки, например, локомоторные. Продолжительность жизни некоторых цистофорных церкарий чрезвычайно высока благодаря пассивному флотированию в толще воды, при котором снижается расход запасенного гликогена. Кроме того, церкарий защищают оболочки хвостовых капсул. Процесс образования стенок хвостовой капсулы был описан только для вида *Cercaria vaullegeardi*: волокнистые клетки секретируют коллагеновые волокна для построения внутренней стенки хвостовой капсулы, а затем дегенерируют (Matthews, 1981).

Целью данного исследования было изучение строения стенок хвостовых капсул цистофорных церкарий нескольких видов. Материал был собран в районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ, а также в окрестностях пос. Дальние Зеленцы (Баренцево море) в период с 2020 по 2022 гг. Образцы были зафиксированы для изучения с помощью световой, конфокальной, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Объектами исследования стали подвижные церкарии семейства Derogenidae (*Derogenes varicus* и *Progonus muelleri*), а также неподвижные церкарии семейства Lecithasteridae (*Lecithaster salmonis*).

У всех рассмотренных церкарий в капсуле присутствует две стенки: наружная тонкая и более толстая внутренняя. Наружная стенка капсулы инвазионных церкарий *D. varicus* и *P. muelleri* схожа по своему строению: это тонкий электронно-плотный слой с утолщениями. При этом наружная стенка капсулы *L. salmonis* менее плотная, без утолщений, но образует множество складок. Внутренняя стенка капсулы *D. varicus* состоит из нескольких слоев волокон, а у *L. salmonis* — всего из одного. У *D. varicus* обнаружены волокнистые клетки.

Наблюдаемые различия могут быть связаны с разными адаптациями к заражению второго промежуточного хозяина в разных филогенетических ветвях.

Работа выполнена при поддержке ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ, ресурсного центра Микроскопии и Микроанализа СПбГУ и Центра коллективного пользования оборудованием «Хромас».

Structure of caudal cyst in cystophorous cercariae (Digenea: Hemiuroidea)

Skobkina O. *, Kremnev G., Krupenko D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

* e-mail: levuyashyk@mail.ru

Digeneans from the superfamily Hemiuroidea have a peculiar type of cercariae which are called cystophorous. Their tail comprises a hollow caudal cyst and a delivery tube. We performed comparative ultrastructural study of cystophorous cercariae in three digenean species.

Метацеркарии *Diplostomum* sp. из центральной нервной системы *Lampetra fluviatilis*: морфологические особенности и взаимодействие с хозяином

Матач Д.А.^{1*}, Арбузова Н.А.^{1,2}, Крупенко Д.Ю.¹, Лянгузова А.Д.^{1,2}, Миролюбов А.А.^{1,2}, Полякова Н.В.³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

³ Институт проблем эволюции и экологии им. А.Н. Северцова РАН, лаборатория поведения низших позвоночных, Москва

* e-mail: st086289@student.spbu.ru

Среди всех паразитов, влияющих на физиологию и поведения хозяина, особое место занимают представители Trematoda. Для трематод характерен сложный жизненный цикл с использованием нескольких хозяев (одного окончательного и одного и более промежуточных). Передача паразита зачастую происходит по трофической цепи. Соответственно, изменения физиологии и поведения промежуточного хозяина, увеличивающие шансы такой передачи, благоприятны для выживаемости паразита. Метацеркарии, паразитирующие в центральной нервной системе (ЦНС), способны значительно изменять поведение зараженных ими организмов. Описаны такие эффекты и для представителей рода *Diplostomum* (сем. Diplostomidae) (Barber, Crompton, 1997).

Метацеркарии *Diplostomum* sp. были обнаружены в ЦНС речной миноги *Lampetra fluviatilis*. Окончательными хозяевами трематод рода *Diplostomum* являются рыбацкие птицы, в то же время личинки миноги большую часть времени проводят зарывшись в грунт. Изменение поведения личинок может способствовать успешной трансмиссии паразита. В данной работе мы исследовали зараженных личинок и ювенильных особей *L. fluviatilis*, выловленных в реках бассейна Финского залива. Распределение метацеркарий в ЦНС было изучено в основном путем вскрытий фиксированного материала. Морфология как паразита, так и прилегающих тканей нервной системы хозяина была исследована с помощью традиционных гистологических методов (изготовление тотальных препаратов, окраска парафиновых срезов по Маллори), а также с помощью трансмиссионной электронной микроскопии и иммуногистохимии.

Метацеркарии в основном располагаются в части желудочковой системы, относящейся к среднему и продолговатому мозгу, однако наибольшее их количество мы наблюдали в четвертом желудочке. Причиной этому может быть как взаимодействие паразита с центрами продолговатого мозга, так и то, что четвертый желудочек обладает наибольшим объемом. Метацеркарии свободно лежат в полости ЦНС, значительных повреждений нервной ткани пескороек на гистологическом уровне обнаружено не было. Выявлены морфологические различия между метацеркариями, в частности, по степени развития выделительной системы. Мы предполагаем, что они связаны со временем проникновения личинок в организм промежуточного хозяина.

Полученные материалы планируется дополнить поведенческими тестами с зараженными и незараженными личинками, иммуногистохимическим определением вероятных веществ, обуславливающих влияние паразита, а также молекулярными данными о видовой принадлежности обнаруженных метацеркарий.

***Diplostomum* sp. metacercariae in the central nervous system of *Lampetra fluviatilis*: morphological features and the host-parasite interactions**

Matach D.^{1*}, Arbuzova N.^{1,2}, Krupenko D.¹, Lianguzova A.^{1,2}, Miroliubov A.^{1,2}, Polyakova N.³

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

³ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Laboratory of Basal Vertebrate Behaviour, Moscow

* e-mail: st086289@student.spbu.ru

Metacercariae of genus *Diplostomum* have been found in the brain cavity of *Lampetra fluviatilis* ammocoetes, hinting at potential host behavior manipulation. Parasite distribution and morphology were analyzed in search of adaptations for such a strategy. We plan to expand upon the acquired data via behavior tests and molecular methods.

Строение нервной и рецепторной системы самки *Intoshia linei* (Orthonectida)

*Rappoport A.B.**, *Слюсарев Ю.С.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

* e-mail: septiger@yandex.ru

Ортонектиды (Orthonectida) — группа паразитов, использующая широкий круг беспозвоночных хозяев. Для ортонектид характерен однохозяинный жизненный цикл, включающий стадию плазмодия, паразитирующего в хозяине, а также свободноживущих самцов и самок. После копуляции формируются личинки, которые покидают материнский организм и заражают нового хозяина. У свободноживущих самцов и самок различных видов строение нервной и мышечной систем значительно варьирует.

Целью данного исследования было изучение и анализ строения нервной и рецепторной системы самок ортонектид вида *Intoshia linei*.

Материал для данного исследования, немуртин вида *Lineus ruber*, зараженных *I. linei*, собирали на Баренцевом море (окрестности поселка Дальние Зеленцы (69°07'с.ш. и 36°05' в.д.). Собранных самок фиксировали и исследовали при помощи конфокальной микроскопии (окраска глиоксиловой кислотой и окраска на серотонин и FMRF-амид), а также трансмиссионной электронной микроскопии и 3D-сканирующей электронной микроскопии. Полученные данные были проанализированы в программе Fiji и послужили основой для создания 3D модели строения нервной системы.

Нервная система самки *I. linei* включает восемь серотонинергических клеток и шесть клеток содержащих FMRF-амид. Это одна из самых малоклеточных нервных систем среди Spiralia. При окраске на серотонин нами выявлены по крайней мере пять клеток, выполняющих, по-видимому, рецепторную функцию. При помощи окраски глиоксиловой кислотой нам удалось выявить еще три предположительно рецепторные клетки, расположенные в передней части самки и своей апикальной поверхностью контактирующие с внешней средой.

Данные полученные при помощи электронной микроскопии подтвердили и уточнили результаты, полученные при помощи конфокальной микроскопии. Было выявлено 18 нервных клеток. Они образуют скопление из 16 клеток, расположенных дорсально в области 1–3 ооцита, и двух нервных клеток, вынесенных ближе к переднему концу самки.

Рецепторы самки *I. linei* по данным электронной микроскопии представлены несколькими группами клеток. Две клетки расположены на латеральных сторонах самки и дают отростки к основному скоплению нервных клеток. Также группа из шести клеток и ассоциированные с ними две нервные клетки расположены в передней части самки. Данная группа представлена тремя клетками, дающими отростки к передней поверхности самки и тремя клетками, тела которых лежат на поверхности самки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-04-00218 с использованием оборудования РЦ «Ресурсный центр микроскопии и микроанализа» (МиМ) СПбГУ.

The structure of nervous system and sensory structures of *Intoshia linei* female (Orthonectida)

*Rappoport A.**, *Slyusarev G.*

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology

* e-mail: septiger@yandex.ru

Sexual individuals of the Orthonectida are characterized by variability of nervous system structure. The aim of this study was to analyze the nervous system of *Intoshia linei* female. Using confocal microscopy, we found eight serotonin- and six FMRF-amide-immunoreactive cells. According to the data obtained by electron microscopy, 18 nerve and eight cells possibly performing a receptor function were identified.

Распределение криптических видов *Echinorhynchus gadi sensu lato* (Acanthocephala)

в Баренцевом, Печорском и Белом море

Федорова З.А.^{1*}, Наумовец Л.А.¹, Дюмина А.В.², Унтилова А.А.³

¹ ГБОУ «Балтийский Берег», ГорСЮТур, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* e-mail: little.god.667@gmail.com

Скребни (тип Acanthocephala) — облигатные эндопаразиты позвоночных, использующие в качестве промежуточного хозяина членистоногих. Традиционно считается, что представители этого типа характеризуются достаточно простой морфологией с весьма ограниченным набором признаков, пригодных для построения таксономии этих организмов. Данные молекулярной филогении оказались во многом противоречивы по отношению к традиционной систематике скребней, основанной на морфологических признаках. Для разрешения этого противоречия требуется как накопление большего объема молекулярно-генетических данных, так и более детальные исследования морфологии. Последние должны включать в том числе морфометрический анализ с использованием современных статистических методов, поскольку для многих систематических признаков скребней явно требуется четкое определение размаха варьирования в пределах вида. В некоторых случаях исследования подобного рода приводят к обнаружению целых комплексов криптических видов. Такой комплекс был описан для *Echinorhynchus gadi sensu lato* (Paleacanthocephala: Echinorhynchidae) на основе данных аллозимного анализа и морфометрии (Vainola et al., 1993). В рамках данного исследования выполнена попытка охарактеризовать распределение криптических видов комплекса *Echinorhynchus gadi s.l.* в Белом, Баренцевом и Печорском море.

Скребни были извлечены из задней кишки хозяев и зафиксированы 70% этиловым спиртом. В исследование включены особи из трески, сайды и керчака. Отлов трески производился в Белом море близ Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН, сайды — в Баренцевом море, губы Ярнышная и Дальнезеленецкая, керчаков — в Печорском море, губа Хайпудырская.

Из всех особей были изготовлены тотальные препараты, окрашенные квасцовым кармином по стандартному протоколу. Каждый тотальный препарат является ваучером — перед изготовлением от особи отделялся участок мягких тканей для дальнейшего выделения ДНК. В морфометрический анализ включено 11 признаков, описывающих пропорции метасомы и основных органов пресомы, а также по три измерения каждого крючка в одном ряду крючьев на хоботке. Данные обработаны методами PERMANOVA и с помощью кластерного анализа в среде R 4.1.1.

Число представленных в собранном материале морфотипов было выявлено с помощью кластерного анализа. Далее сравнение морфометрических характеристик особей, отнесенных к соответствующим морфотипам, методом PERMANOVA подтвердило достоверность различий между выделенными морфотипами. Получена характеристика количественного соотношения выявленных морфотипов в исследованных сайтах.

Distribution of cryptic species of *Echinorhynchus gadi sensu lato* (Acanthocephala) in the White, Barents and Pechora Seas

Fedorova Z.^{1*}, Naumovets L.¹, Diumina A.², Untilova A.³

¹ SBEI “Baltijskij Bereg”, MSYTur, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg

³ Saint Petersburg University, Saint Petersburg

* e-mail: little.god.667@gmail.com

We studied distribution of cryptic species within *Echinorhynchus gadi s.l.* in the White, Barents and Pechora Seas. To identify cryptic species, we used morphometric analysis. Each sample is a voucher specimen for the following DNA-barcoding.

Сравнительный анализ морфологии личиночных стадий *Polymorphus phippii* и *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae)

Дюмина А.В.

Зоологический институт РАН, лаборатория паразитических червей и протистов, Санкт-Петербург
e-mail: d_alexia@mail.ru

Acanthocephala (скребни) — это относительно малочисленная и малоизученная группа эндопаразитических организмов, родственных коловраткам (Rotifera). На сегодняшний день таксономия скребней претерпевает серьезные изменения в связи с появлением данных молекулярной филогении. Не является исключением в этом отношении и семейство Polymorphidae. Одним из актуальных вопросов является валидность рода *Profilicollis*, который некоторые авторы (Amin, 1985) предлагают включать в состав рода *Polymorphus*. Одной из характерных черт для представителей рода *Profilicollis* считается использование Decapoda в качестве промежуточных хозяев (Nickol et al., 1999). В рамках предыдущих исследований (Дюмина и др., 2019) было выявлено филогенетическое положение вида *Polymorphus phippii*: ближе всего этот вид оказался к *Pr. botulus* и *Pr. altmani*. При этом промежуточными хозяевами для представителей *P. phippii* являются литоральные Gammaridae. Для разрешения этого противоречия требуются детальные сравнительно-морфологические исследования. В ходе такой работы возможно также верифицировать комплекс систематических признаков, актуальных для продуктивной ревизии таксономии Polymorphidae. Целью данного исследования было описание общей морфологии личиночных стадий *P. phippii* и *P. botulus* и их сравнение между собой и с типовым видом семейства — *Polymorphus minutus*.

Материал получен из промежуточных хозяев, зараженных естественным путем. Описание для *P. phippii* составлено по особям из литоральных Gammaridae из губы Лямчиной Печорского моря, губы Лодейная Баренцева моря и вершины Кандалакшского залива Белого моря. Описания для *Pr. botulus* составлены по особям из *Hyas araneus* с сублиторали губы Хайпудырской Печорского моря и из *Pagurus pubescens* с сублиторали окрестностей пос. Дальние Зеленцы (бухта Подпахта, губа Ярнышная, Баренцево море). Видовая идентификация проводилась по работе Успенской (1963), определение стадий — по морфологическим признакам, описанным в работе Butterworth (1969) для *P. minutus*. Из всех полученных особей скребней были изготовлены тотальные препараты, окрашенные гематоксилином Бемера. Зоологические рисунки выполнены на микроскопе Leica DM2500 с рисовальным аппаратом.

У *P. phippii* и *Pr. botulus* различались число, локализация и форма гигантских ядер на стадии ранней акантеллы и средней акантеллы I, количество ядер в апикальной розетке у средних акантелл I–II, строение маточного колокола и копулятивной бурсы у поздних акантелл, размеры и форма цисты у цистакантов. Основным отличием двух изученных видов от *P. minutus* является фрагментация ядер лемнисков с последующей их миграцией в формирующиеся лемниски, которая происходит после фрагментации ядер синдермиса метасомы и закладки дистального отдела половой системы. В целом, по итогам проведенного сравнительного анализа можно заключить, что личиночные стадии *P. phippii* и *Pr. botulus* морфологически более сходны друг с другом, чем с *P. minutus*.

Comparative analysis of *Polymorphus phippii* and *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae) larval stage morphology

Diumina A.

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

The acanthocephalan species *Polymorphus phippii* is closer to representatives of the genus *Profilicollis* according to molecular data, but they differ in intermediate host range. To resolve this controversy, I verified several morphological features of *P. phippii* and *Pr. botulus* larval stages, and compared them with *Polymorphus minutus* characters.

Subsequent duplication of *Brachyury* gene in Hydrozoa

Vetrova A.^{1*}, Kupaeva D.², Lebedeva T.³, Tsikolia N.⁴, Kremnyov S.^{1,2}

¹ Koltzov Institute of Developmental Biology of RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution, Moscow

² Lomonosov Moscow State University, Department of Embryology, Faculty of Biology, Moscow

³ University of Vienna, Centre of Organismal Systems Biology, Department for Molecular Evolution and Development, Vienna, Austria

⁴ University of Freiburg, CIBSS — Centre for Integrative Biological Signalling Studies, 79104 Freiburg, Germany

* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Brachyury is a highly conserved member of the T-box transcription factor family. In bilaterians, it plays a major role in mesoderm specification, but its evolutionary primary function is possibly associated with germ layers demarcation during gastrulation. It is also a key component of the axial patterning gene network. For example, in cnidarians, one of *Brachyury* expression domains is conservatively detected at the oral pole of the body axis.

Though a single copy of *Brachyury* gene is present in genomes of most studied Metazoans, it was demonstrated previously that some hydrozoan cnidarians have several copies of *Brachyury*. Since it is unclear whether gene duplication occurred in the common hydrozoan ancestor or there were several independent lineage-specific events, we performed a thorough phylogenetic analysis of *Brachyury* genes within phylum Cnidaria. According to the analysis, *Brachyury* has undergone two duplication events in the cnidarian lineage. Our data indicate first gene duplication in the common ancestor of Medusozoa clade. Strikingly, the second duplication event occurred in the hydrozoan lineage where we found three paralogs of *Brachyury* in most species. We designate result of the first duplication event as *Brachyury2* and of the second as *Brachyury3*.

Further, we examined expression of three *Brachyury* paralogs throughout the life cycle of the White Sea hydrozoan *Dynamena pumila*. *Brachyury1* and *2* preserve a conservative expression pattern and mark the oral pole of the body axis in *D. pumila*. *Brachyury2* also seems to obtain a novel function since it marks forming hydrant primordia in the complex colony of *D. pumila*. On the contrary, *Brachyury3* expression was detected in nerve cells of the *D. pumila* larva.

Next, we assayed the dependence of three *Brachyury* genes on cWnt pathway in *D. pumila*. It was shown previously that *Brachyury* genes are conservatively regulated by cWnt signaling in Metazoa. However, pharmacological modulations revealed that in *D. pumila*, *Brachyury3* is not under regulation of cWnt signalling in contrast to other *Brachyury* genes. Comparison of sequence conservation also demonstrates that *Brachyury3* orthologs are the most diverse in length and amino acid identity among hydrozoan *Brachyury* gene family. Divergence in sequence conservation, expression patterns, and regulation suggest neofunctionalization of the *Brachyury3* in hydrozoans. The case of subsequent gene duplication in hydrozoans seems to be a promising model for studies on post-duplication scenarios.

RFBR, 20-04-00978a, supports the work.

Normal development of *Dimorphilus gyrociliatus* in the context of sexual dimorphism

Matveicheva E.^{1*}, Fofanova E.², Voronezskaya E.²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Koltsov Institute of Developmental Biology, Moscow

* e-mail: matveich_eva@hotmail.com

The representatives of annelids are characterized by different body plans, life cycles and lifestyles. To date, a number of data have been collected on the early development of many groups within the annelids, such as Errantia, Sedentaria, Sipuncula, and Palaeoannelida. However, little is known about the early development of Dinophiliformia. This group is of great interest, especially *Dimorphilus gyrociliatus* and *D. vortiocides*.

The early development of *D. gyrociliatus* was described in detail by Nelson in the early 20th century. However, this is the only work of this species, moreover, many aspects of early development are not described, especially the development of a dwarf male and *D. vorticoides*. The objective of our work was to study the development of males and females of *D. gyrociliatus* from the time of cocoon emergence until hatching of a juvenile from the clutch. We conducted observations of females, selected freshly laid cocoon, and recorded changes in morphology, onset of rotation, appearance of a mouth opening, segments, and finally hatching.

We have used a standard set of antibodies against serotonin and tubulin to identify groups of neurons and ciliary structures, as well as phalloidin and DAPI. We have shown that male development is slower from the stage of four blastomeres. The mouth opening appears on the second day of development in females and is absent in males. The first ciliary cells appear on the second day of development in both males and females. Rotation begins on the second day of development in females and on the third day in males. The first serotonergic neurons appear earlier in females, on the second day of development. Signs of external segmentation appear on the fourth day of development in females; no segmentation is observed in males.

In addition, the number of cells is different: in females, the body before hatching consists of 5000 cells; in males, it consists of 975, most of which are spermatozoa. Thus, we were able to show the difference in the development of males and females of *D. gyrociliatus*.

Pattern of MAPK-cascade activation during early development of *Ophelia limacina* (Spiralia, Annelida)

*Greenberg M. *, Kozin V.*

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

* e-mail: greenerkk@gmail.com

Development of different members of the Spiralia clade was often considered as a classic example of mosaic development. Because of the early determination of blastomere fates, this developmental pattern is sometimes equated with the autonomous mode of cell specification. Nevertheless, many researches demonstrate a high level of inductive interactions during early spiralian development. One of the main examples provides the activity of signaling center from D-quadrant that was shown both for equally and unequally cleaving species. Molecular studies showed that MAPK-cascade seems to be one of the conservative pathways involved in this induction process. However, a comprehensive understanding of MAPK significance requires broader phylogenetic sampling, since patterns of MAPK-cascade activation and its overall importance for signaling center activity vary greatly among species.

The White Sea homoquadrant-cleaving annelid *Ophelia limacina* is a promising object for the indicated objectives. The probable induction is manifested in *O. limacina* morphologically by the establishment of temporal contact between animal micromeres and a vegetal cell (presumably, 4d), that resembles the D-quadrant specification process in equally cleaving mollusks.

Here we studied spatial and temporal pattern of MAPK-cascade activation during cleavage and gastrulation in *O. limacina* to investigate its possible connection with D-quadrant specification. We fixed batches of embryos and stained them with antibodies against dpERK, an active form of the MAP kinase.

The first appearance of MAPK activity was detected at the 16 cell stage in several animal blastomeres. By the 36 cell stage, MAPK activity was also detected on vegetal pole in all macromeres and the fourth quartet micromeres. However, at the 44–48 cell stage the dpERK signal was only found in one of 4q cells, which is the 4d. Prior to gastrulation, 4d divides faster than other fourth quartet micromeres and forms two M cells, both demonstrating strong MAPK activity. A bit earlier, prior to interaction between 4d and animal micromeres, we found a short-term spread of MAPK activity around 4d. During these stages the signal was detected in multiple adjacent blastomeres on lateral side of the embryo from vegetal to animal pole. Such spatial propagation of the MAPK activation has never been observed in equally cleaving spiralian before.

Together our findings suggest a connection between MAPK activity and specification of D-quadrant in *O. limacina*, which can take place before animal-vegetal contact and accelerated division of 4d. The results allow to speculate that MAPK activation may be involved in specification of dorsal cell fates.

The study was performed at the WSBS MSU and Research Center of Microscopy and Microanalysis SPbSU.

Апоптоз в регенерации *Pygospio elegans* и *Platynereis dumerilii* (Annelida)

Бармасова Г.А.^{1,2*}, Старунова З.И.², Новикова Е.Л.^{2,3}, Старунов В.В.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

² Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии, Санкт-Петербург

³ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

* e-mail: barmasovagalina@yandex.ru

Апоптоз выполняет множество функций в различных процессах развития, в том числе и в регенеративных. Во-первых, он обеспечивает формирование границ новообразованных органов; во-вторых, подавляет развитие иммунных и воспалительных процессов; в-третьих, способствует деградации поврежденных и отмирающих структур. Наконец, была показана функция апоптоза как пролиферативного фактора, запускающего клеточные деления. Последний аспект вызывает наибольший интерес в контексте исследования репаративной регенерации и установления клеточных источников новообразованных структур.

Регенеративные способностиannelид значительно варьируют у различных представителей. Некоторые виды вовсе не способны восстанавливать утраченные структуры; другие, такие как выбранный нами для изучения вид *Pygospio elegans*, осуществляют регенерацию как переднего конца тела, так и заднего. Большинствоannelид способны отращивать только задний конец тела, как это делает второй исследуемый нами вид *Platynereis dumerilii*.

Целью нашего исследования стало изучение роли апоптоза в регенерацииannelид на примере двух видов: *Pygospio elegans* и *Platynereis dumerilii*. Для достижения данной цели мы поставили следующую задачу: установление пространственно-временного распределения апоптоза в ходе регенерации переднего и заднего конца тела у данных видов.

Для выявления апоптирующих клеток нами были выбраны метод TUNEL, обеспечивающий связывание флуоресцентной метки с двуцепочечными разрывами ДНК, возникающими в ходе ее деградации в процессе апоптоза, и реагент CellEvent, позволяющий пометить ядра клеток с активированными каспазами-3/7. Нами был обнаружен пик апоптотической активности на стадиях 12–30 часов после ампутации у передних и задних регенератов *P. elegans* и у передних регенератов *P. dumerilii*, что предшествует началу активной клеточной пролиферации в данной области. Однако в задних регенератах *P. dumerilii* рост апоптотической активности начинается позже и продолжает увеличиваться к четырём дням после ампутации, в то время как в передних регенератах этого вида и в обоих типах регенератов *P. elegans* происходит снижение числа апоптирующих клеток к третьим суткам после ампутации. Соответственно, мы можем сделать вывод о том, что в передних регенератах *P. dumerilii* и в теле *P. elegans* апоптотические процессы сменяются пролиферативными, что приводит к успешной регенерации и жизнеспособности животного после операции.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант 21-14-00304. Работы проведены на базе ЦКП «Таксон», Зоологический институт РАН и ЦКП «Хромас» Научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета.

Apoptosis during regeneration of *Pygospio elegans* and *Platynereis dumerilii* (Annelida)

Barmasova G.^{1,2*}, Starunova Z.², Novikova E.^{1,3}, Starunov V.^{1,2}

¹ Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

² Zoological Institute of RAS, Laboratory of Evolutionary Morphology, Saint Petersburg

³ Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

* e-mail: barmasovagalina@yandex.ru

Apoptosis is known to play significant roles in different processes of development including regeneration. It acts as a proliferation factor, so it may regulate the level of regenerative abilities. We have shown that successful regeneration ofannelids correlates with increase of apoptosis on 1–3 days post amputation and subsequent decrease.

Microtubules in calcareous sponge cells: organization, post-translational modifications, regulators

Skorentseva K.^{1*}, Melnikov N.², Bolshakov F.³, Saidova A.⁴, Lavrov A.³

¹ Koltzov Institute of Developmental Biology of RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution, Moscow

² Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

³ Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Pertsov White Sea Biological Station

⁴ Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Department of Cell Biology and Histology, Moscow

* e-mail: skorentseva.ksenya.2016@post.bio.msu.ru

It is well-known reparative morphogenesis shares many cellular and molecular mechanisms with embryogenesis, neoplastic transformation, and asexual reproduction. One of the main mechanisms is epithelialization: restoration of the epithelial barrier, since the majority of injuries affects epithelial tissues. It is based on coordinated transformation of epithelia and corresponding rearrangements of cytoskeleton.

Sponges (phylum Porifera) are a sister group of Eumetazoa with unique histological organization and regeneration abilities. Studies of these animals were carried out using light and electron microscopy. Now the research has reached a new, molecular, level, but the growing data remains fragmentary: the cytoskeleton is studied only from a descriptive point of view.

The analysis of the rearrangements and regulation of cytoskeleton during regeneration in basal metazoans might give the key to understanding the evolutions of morphogenesis. The aim of this study was to reveal rearrangements in the microtubule system and its possible regulation during regeneration in calcareous sponge *Leucosolenia variabilis*.

To initiate regeneration, the oscular tube was cut transversely into rings 1–3 mm wide. The regeneration process starts with the formation of a temporary regenerative membrane (RM), which then transforms into the new body wall that closes the orifices of the wounds. RM consists of three cell layers: exopinacoderm, endopinacoderm and the mesohyl layer. RM appears at ~12–24 hours after operation (hpo) and its formation is based on transformations of the preexisting cell layers, without contributing to proliferation. Full RM forms at ~48 hpo but its transformation into intact body wall begins already at ~24–30 hpo. The central event in this process is the substitution of endopinacocytes with choanocytes on the internal side of RM.

Immunocytochemistry demonstrates the centrosomal organization of microtubules in intact tissues. Each cell has one bright microtubule-organizing center (MTOC); in choanocytes, the MTOC is represented by the flagellum kinetosome. In RM cells, the microtubule system also has a centrosomal organization with a single MTOC, herewith a significant reorganization of the system occurs during the choanocytes transdifferentiation. We also demonstrate the distribution of post-translational modifications of α -tubulin in a network of microtubules: tyrosinated, detyrosinated, and acetylated forms.

We found and annotated the mRNA sequences of some proteins known to contribute to microtubule dynamics and predicted their domain structure and phylogenetic relationships.

The data obtained expand our understanding of the mechanisms of epithelial healing in basal metazoans, contributing to the field of evolution and developmental biology.

This work was supported by RFBR grant no. 21-54-15006.

Экспрессия *FoxN4* ассоциирована с зонами нематогенеза в гонофорах двух типов беломорского гидроида *Sarsia loveni*

Пасхин Ф.Г.¹, Ветрова А.А.^{2*}, Прудковский А.А.³, Кремнев С.В.^{1,2}

¹ Московский государственный университет, кафедра эмбриологии, Москва

² Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, лаборатория эволюции морфогенезов, Москва

³ Московский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Сложный жизненный цикл гидроидных включает пелагическую медузную и донную полипоидную стадии. Однако среди гидроидов широко распространена тенденция к редукции медузного поколения. Так, у беломорского гидроидного полипа *Sarsia lovenii* существуют два гаплотипа, отличающиеся особенностями жизненного цикла. Полипы одного из гаплотипов образуют свободно плавающие медузы, тогда как другой формирует прикрепленные медузоиды, утрачивающие многие черты строения свободноплавающей медузы, такие как светочувствительные глазки и щупальца.

При сравнении транскриптомов медуз и медузоидов мы выяснили, что у медуз повышена экспрессия гена *FoxN4*, одного из ключевых транскрипционных факторов, управляющих формированием сетчатки глаза у позвоночных. Мы исследовали пространственную экспрессию гена *FoxN4* методом гибридизации *in situ* в двух типах гонофоров *S. loveni*.

В медузах *S. loveni* мы выявили экспрессию гена *FoxN4* в бульбе щупальца, где у медузы методами микроскопии был обнаружен и описан примитивный глазок. Однако, *FoxN4* экспрессируется не в самом глазке, а в клетках вокруг него и в отдельных клетках с внутренней стороны бульбы. У медузоида *S. loveni* в редуцированных бульбах отсутствуют глазки, а паттерн экспрессии гена *FoxN4* представляет собой единую область. Мы предположили, что экспрессия *FoxN4* в бульбе у медузоида несмотря на отсутствие там глазка может свидетельствовать о связи экспрессии *FoxN4* с дифференцировкой иного типа нейросенсорных клеток. Поскольку у медузы *S. loveni* так же вокруг глазка методами микроскопии были обнаружены формирующиеся книдоциты, можно предположить, что экспрессия *FoxN4* колокализована с областью активно делящихся мультитипотентных i-клеток дающих начало пулу книдоцитов.

Методом внесения EdU метки мы выявили области активной пролиферации клеток в медузах и медузоидах и обнаружили, что пролиферация клеток у медуз идет в области бульб. Для подтверждения того, что активно делящиеся клетки в бульбе являются мультитипотентными i-клетками, мы, используя метод гибридизации *in situ* визуализировали в медузах и медузоидах *S. loveni* экспрессию генов-маркеров мультитипотентных i-клеток, *Piwi* и *Vasa*. Паттерны экспрессии *Piwi* и *Vasa* перекрывались как с областью активной пролиферации, так и с паттерном экспрессии *FoxN4* в медузах и медузоидах.

На основании полученных результатов можно предположить, что у *S. loveni* *FoxN4* вероятно участвует в дифференцировке нейросенсорных клеток таких как книдоциты. Для подтверждения нашей гипотезы в дальнейшем будет необходимо исследовать пространственную экспрессию генов-маркеров книдоцитов, например, генов миниколлагенов.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ № 21-74-00129.

Foxn4* expression is associated with nematogenesis in two types of gonophores in the White Sea hydrozoan *Sarsia loveni

Paschin F.¹, Vetrova A.^{2*}, Prudkovsky A.³, Kremnyov S.^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Embryology, Moscow

² Koltzov Institute of Developmental Biology of RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution, Moscow

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Transcription factor FoxN4 participates in retina development in vertebrates. However according to data of electron microscopy, cell proliferation assay and *in situ* hybridization on FoxN4 and marker genes for multipotent i-cells, its expression is associated with areas of nematogenesis in gonophores of *S. loveni*.

Гаметогенез у аннелид

Куракина Е.Н. *, Костюченко Р.П.

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

*e-mail: st106941@student.spbu.ru

Половая репродукция — наиболее представленная форма размножения животных, обеспечивающая стабильное существование вида и различного рода эволюционные преобразования, ведущие к возникновению новых форм. Она требует формирования особой линии половых клеток, развития специализированных органов половой системы, нередко и полового поведения, полового диморфизма и особых типов метаморфоза.

В настоящей работе мы проводим сравнительное исследование различных аспектов гаметогенеза у представителей аннелид, начиная с источников половых клеток и заканчивая развитием и строением половой системы. Аннелиды — большая группа беспозвоночных целомических животных, характеризующаяся наличием сегментов и стереотипного развития на основе спирального дробления, освоившая разные среды обитания и во взрослом состоянии отличающаяся по морфологии, анатомии и физиологии.

Проведенный нами анализ экспрессии генов программы поддержания половых и мультипотентных клеток (GMP) у полихеты *Alitta virens* и олигохеты *Enchytraeus coronatus* подтверждает идею, что клеточный источник половых клеток у аннелид — бластомеры-предшественники энтомезомеры. В тоже время результаты наших экспериментов говорят о восстановлении линии половых клеток в ходе регенерации или сексуализации после многократных генераций бесполом способом у олигохет, что предполагает наличие и иных источников для этих специализированных клеток. Возникнув в ходе эмбриогенеза на основе гомологичных бластомеров, половые клетки со временем мигрируют в область зачатков гонад и их поведение, вероятно, коррелирует с вариабельностью развития и строения половой системы у разных видов. Так, у имеющих примитивную половую систему *A. virens* и *P. dumerilii* первичные половые клетки появляются в период гастрюляции и располагаются возле формирующейся задней кишки. При метаморфозе нектохеты в ювенильного червя они мигрируют вперед, образуя кластер клеток, которые через некоторое время интенсивно пролиферируют и распределяются по постларвальным сегментам. Олигохеты, подобно пиявкам, характеризуются гермафродитизмом, развитием гонад в определенных сегментах тела, наличием специальных органов для перекрестного оплодотворения, окончательного формирования гамет и кокона. Наши предварительные результаты говорят о более поздней сегрегации линии половых клеток, отсутствии заметной миграции и кластера клеток в эмбриогенезе энхитреид. Однако восстановление гонад в ходе регенерации сопровождается появлением во вновь сформированных гонадонесущих сегментах клеток, *de novo* экспрессирующих гены GMP, и не исключает миграцию этих клеток. Дальнейшие исследования позволят нам детально описать процесс восстановления гонад и выявить возможный источник линии половых клеток при регенерации.

Сравнительное исследование гаметогенеза, развития и строения половой системы важно для понимания эволюции траекторий развития и репродукции у аннелид.

Gametogenesis in annelids

Kurakina E. *, Kostyuchenko R.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

*e-mail: st106941@student.spbu.ru

Annelida is a taxon of segmented worms exhibiting a stereotypical pattern of development based on spiral cleavage, a variety of reproductive strategies and structure of adult individuals. Present work represents a comparative study of different aspects of annelids' gametogenesis including germ line cells and the development of the reproductive system.

Molecular and cellular basis of neurogenesis in annelids

Kotenko A. *, Kostyuchenko R., Shcherban A.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

* e-mail: st096355@student.spbu.ru

The aim of our research is the understanding of general molecular and cellular pattern of nervous system development during embryogenesis and regeneration in different taxa of Annelida, in particular, the involvement of the proneural genes in its formation and differentiation.

Annelida is a group of protostomes, characterized by spiral cleavage, metameric structure and secondary body cavity. Although the cellular origin of the neural system is the same in all studied annelids, its development varies in details. Annelid nervous system can either undergo through the larval state or directly form a definitive nervous system. Thus, in polychaetes, the pioneer neurons and their neurites form a scaffold that is later used for developing an adult neural system. On the other hand, in clitellate species, the trunk nervous system is formed as definitive from the ectodermal teloblast lineages, and the clitellate mode of segmental ganglia morphogenesis is unlikely to operate in polychaetes.

Main information about the gene regulatory network involved in neurogenesis is obtained on vertebrates and arthropods, however, there is only little data about similar processes in Spiralia. The major data about members of the Annelida is known from several model objects such as *Platynereis* and *Capitella*.

There are a number of key genes involved in neurogenesis that have different putative functions. For instance, *neurogenin* and down-stream *achaete-scute* gene are expressed in neural precursor cells (NPCs) in the head and trunk neuroectoderm, indicating probable function in promoting NPCs proliferation; ParaHox and Pax6 homologs are important for neuronal cell specification.

Using transcriptome analysis of several annelid species (*Alitta virens*, *Enchytraeus coronatus* and *Nais communis*), we have identified a number of key regulatory genes for neurogenesis. Our results confirm the presence of single orthologs of *neurogenin*, *neuroD*, *Pax6* and Parahox genes in nereidid polychaetes. In contrast, duplicated homologs of *Pax6* and some Parahox genes were found in oligochaetes. Our preliminary data on the detection of gene expression by using *in situ* hybridization indicate significant differences in molecular patterning and morphogenesis of ventral nerve cord during the development of the nervous system in nereidid polychaetes and enchytraeid oligochaetes.

The comparative study of the annelids' neurogenesis is important for understanding of the nervous system evolution in bilaterians.

This research is supported by the RSF grant 22-24-00443 and performed at the Research Park of Saint Petersburg University "Center for Molecular and Cell Technologies".

Экспериментальные исследования роли нервной системы при регенерации *Alitta virens*

*Шалаева А.Ю.**, *Беляева М.О.*, *Тарасов М.С.*, *Козин В.В.*

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

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

Нервная система имеет одну из ведущих ролей в репаративных процессах как у позвоночных, так и беспозвоночных животных, участвуя в регенерации не только в качестве структурного компонента, по которому осуществляется миграция задействованных в восстановлении утраченной части клеток, но и в качестве источника сигнальных молекул, стимулирующих инициацию развития регенеративной почки. Для определения влияния нервной системы и иннервации места повреждения при восстановлении заднего конца полихеты *Alitta virens* мы проводили денервацию места повреждения, удаляя часть нервной цепочки или отводя лоскут с ней от места повреждения. Другой тип экспериментов, удаление простомиума, содержащего головной ганглий, позволяет нам определить влияние нейроэндокринной системы на процесс восстановления, учитывая, что передняя регенерация для этих животных невозможна.

При денервации места повреждения с последующей ампутацией задней части тела животного, мы наблюдали замедление роста и развития регенерата. Почка сильно уменьшается в размере, изменяются ее пропорции, а также замедляется скорость процессов восстановления. При этом внешние признаки дифференцировки регенерата присутствуют: пигидий и цирры выражены. Сегменты с кольцевыми кровеносными сосудами разделены межсегментными бороздами, в более дифференцированных сегментах отмечали сформированные параподии с хетами. Удаление головного ганглия приводило к подобному результату, особенно в совокупности с увеличением временного промежутка между декапитацией и ампутацией задней части. В этих экспериментах мы наблюдали несколько замедленное развитие регенерата, достигавшего стадии 4–5 дней, после чего его рост и дифференцировка прекращались. По достижении предельного срока выживаемости (15–20 дней) объекты демонстрировали деформацию регенерационной почки, начальные признаки сегментации внутренних органов и дифференцировку терминальной части с пигидием и циррами.

Таким образом, наша работа показывает важность иннервации раны для восстановления пропорций и сегментации при регенерации. Нейротрофические и нейрогуморальные стимулы в меньшей степени влияют на заживление раны и закладку бластемы, но незаменимы для нормального роста и дифференцировки регенерационной почки у *A. virens*.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №21-74-00055 на базе УНБ «Беломорская» и РЦ СПбГУ «Микроскопии и микроанализа».

Experimental research on impact of the nervous system of *Alitta virens*

*Shalaeva A.**, *Belyaeva M.*, *Tarasov M.*, *Kozin V.*

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

Alitta virens regenerates only posterior end and this process is controlled by the neuroendocrine secretion and innervation of the wound. By removing this influence, we estimate impact of nerves on regeneration. Our data show that the central nervous system is of great importance for differentiation and proper formation of the regenerative bud.

Анализ экспрессии генов сигнального пути Hedgehog у nereidной полихеты

Platynereis dumerilii

Полюшкевич Л.О. *, Кулакова М.А.

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

* e-mail: mila.papurika@gmail.com

Сигнальные белки семейства Hedgehog (Hh) регулируют многочисленные процессы паттернирования у позвоночных и беспозвоночных животных. Современные данные указывают на то, что сигнальный путь Hh есть у всех билатерий, за исключением нематод. Он подробно исследован у Deuterostomia и Ecdysozoa, а сведения о характере активности данного пути у Lophotrochozoa остаются отрывочными. Одним из репрезентативных представителей лофотрохозой считается nereidная аннелида *Platynereis dumerilii*, так как этот вид сохранил много предковых черт, характерных для спиральных животных в целом. В представленном исследовании мы описываем характер экспрессии генов сигнального пути Hh у *P. dumerilii* на нескольких стадиях развития.

Опираясь на данные регенерационного транскриптома *P. dumerilii*, мы клонировали гены ключевых белков сигнального пути Hh: лиганда *Hh*, его рецептора *Patched*, трансмембранного активатора *Smoothed* и транскрипционного фактора *Gli* (*Cubitus interruptus*). С помощью метода гибридизации *in situ* на тотальных препаратах (WMISH) мы локализовали транскрипцию данных генов у личинок и ювенильных червей.

У личинок *P. dumerilii* ключевые гены Hh-пути транскрибируются в зачатке глотки. Кроме того, Hh-позитивные клетки локализованы в эписфере, вентральной нервной пластинке и заднем отделе кишки. В постларвальный период развития экспрессия *Hh* исчезает в глотке, но сохраняется в нервной системе, где приурочена к передней части ганглиев.

Тело аннелид метамерно, поэтому в их развитии особое место занимает процесс сегментации. Это происходит не без участия Hh-пути. На ранних стадиях развития сегментированной личинки (метатрохофоры) *Hh* экспрессируется в эктодерме в виде метамерного паттерна, который исчезает у более поздней личинки (нектохеты). У ювенильного червя транскрипция ключевых генов Hh-пути хорошо заметна в формирующихся сегментах и носит метамерный характер. При этом в зрелых сегментах мы наблюдаем регулярные домены экспрессии *Hh*, локализованные латерально между сегментами и не угасающие на протяжении всей жизни червя.

В целом у *P. dumerilii* ген *Hh* экспрессируется в эктодермальных производных, в то время как домены транскрипции *Patched*, *Smoothed* и *Gli* локализованы вблизи доменов Hh, но в клетках другого зародышевого листка — мезодермы. Возможно, в развитии червя имеет место постоянный 'диалог' между производными эктодермы и мезодермы, который необходим для адекватного протекания развития, роста и, потенциально, регенерации.

Полученные результаты являются ценным вкладом к имеющимся представлениям об эволюции компонентов сигнального пути Hh и приближают нас к пониманию той молекулярной архитектуры, которую использовал для построения тела общий предок Bilateria.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ (21-14-00304). Клонирование и визуализация данных выполнены на оборудовании Научного парка СПбГУ: ЦКП «Культивирование микроорганизмов» и «Хромас»

Expression of Hedgehog signaling pathway genes in development of nereid polychaete *Platynereis dumerilii*

Poliushkevich L. *, Kulakova M.

Saint Petersburg University, Faculty of Biology, Saint Petersburg

* e-mail: mila.papurika@gmail.com

In this study, we analyzed expression patterns of Hedgehog signalling pathway genes in annelid *Platynereis dumerilii*. We found that the Hh pathway is involved in multiple morphogenetic events such as larval segmentation, nervous system and gut development, and postlarval growth.

Участие Wnt-сигналинга в контроле над клеточной пролиферацией и формированием постларвальных сегментов при переходе к анаморфному росту у полихеты *Alitta virens*

*Кайров А.И.**, *Козин В.В.*

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

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

К сегментированным животным традиционно относят членистоногих, позвоночных и аннелид, однако это достаточно далекие друг от друга группы. В настоящее время нет единого мнения об эволюционном происхождении сегментации. Одним из молекулярных участников в развитии сегментированного плана строения является Wnt-сигналинг — его роль показана у насекомых с короткой зародышевой полоской и у позвоночных животных. Аннелиды в этом отношении остаются практически неизученными.

У членистоногих животных надежными маркерами сегментации являются гены полярности сегментов — *wingless (wg)* и *engrailed (en)*. Они экспрессируются на границах парасегментов у всех исследованных членистоногих: насекомых, хелицерных, ракообразных, многоножек. Гомологи этих генов были выявлены у кольчатых червей. У нереидных полихет паттерн экспрессии *wg* и *en* на личиночных стадиях развития и во взрослом состоянии напоминает таковой у членистоногих и в целом поддерживает роль этих генов в процессе становления сегментации. Однако распределение продуктов *wg* и *en* у других аннелид, таких как *Capitella teleta* и *Chaetopterus* sp., не поддерживает возможное участие этих генов в инициации метамерного паттерна. Кроме того, исследования обозначенных аннелид проводились на личиночных стадиях развития, тогда как период перехода к анаморфному росту практически не был изучен.

Целью работы стало выявление роли Wnt-сигналинга в процессе формирования первых постларвальных сегментов, а также определение закономерностей экспрессии *wg* и *en* в этот период у нереидной полихеты *Alitta virens*. Для модуляции Wnt-сигналинга применялся ингибиторный анализ. Полученные данные говорят об отличиях в молекулярной программе в развитии сегментов у аннелид и членистоногих. На поздних личиночных стадиях *A. virens* мРНК *wg* локализована на заднем конце тела. Экспрессия *en* выявлена в зоне роста, а именно — в кольцевом предпигидиальном домене шириной в одну клетку; при этом в ходе развития зона роста утолщается, а затем формируется второй кольцевой домен экспрессии, что контрастирует с известным у членистоногих. В ходе гиперактивации Wnt-сигналинга паттерн экспрессии принципиально не меняется, несмотря на то, что задняя граница четвертого сегмента не формируется (морфологически); характер ответа на гиперактивацию принципиально схож с таковым у насекомых. Соответственно, имеются сходства и различия с членистоногими, позволяющие сделать вывод о наличии у *A. virens* отличающейся программы развития сегментов; при этом Wnt-сигналинг, по-видимому, выполняет свою консервативную функцию — паттернирование переднезадней оси тела.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-74-00055 на базе МБС СПбГУ и РЦ ММ СПбГУ.

Involvement of Wnt signaling in control of cell proliferation and postlarval segments' development at the beginning of anamorphic growth in the polychaete *Alitta virens*.

*Kairov A.**, *Kozin V.*

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

Ancestral status of segmentation is unknown. Genes of segment polarity (*engrailed* and *wingless*) and Wnt-signaling control segmentation in arthropods. Here we examine expression of *engrailed* and *wingless* and evaluate role of Wnt-signaling during posterior growth in *Alitta virens*. Our data indicate similarities and differences in molecular program of segmentation.

White Sea littoral Oligochaeta as an object for studying Annelida development

Smyslov A.^{1*}, Matveicheva E.¹, Neretina T.¹, Ekimova I.¹, Nikishin D.^{1,2}, Semenova M.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Koltzov Institute of Developmental Biology, Moscow

* e-mail: smy2001@yandex.ru

The development of Annelida was previously studied on members of the class Polychaeta, now obsolete - according to current data, the Annelida group is divided into Sedentaria and Errantia. However, the Oligochaeta group within the Clitellata group is of no less interest: there is no unambiguous view of their phylogeny within Annelida, since they have a simplified structure compared to other Annelida groups, and have a number of evolutionary interesting features, such as a dorsally located pharynx (which only a few of Annelida have), hermaphroditism, direct development. The study of the early development of Oligochaeta can expand the understanding of developmental mechanisms in the study of the evolutionary traits of this group, in addition, the early development of Oligochaeta has been studied in a fairly small number of organisms.

The aim of this work was to study the early development of the White Sea oligochaete, which is widespread in the littoral zone, to determine its species and to compare it with the described development of *Tubifex tubifex* and *Enchytraeus coronatus*.

Material was prepared for sequencing (adults and its cocoon) in order to determine the type of oligochaete, sequencing was carried out for the nuclear 18S gene and the mitochondrial *COI* gene), photo registration was carried out and the morphology of the clutches and the stages of normal development of the oligochaete were described, the embryos were removed from the cocoons and their morphology was analyzed by fibrillar actin staining and confocal microscopy.

According to the results of sequencing, the studied oligochaete belongs to the genus *Lumbricillus*. Photographs of all main stages of development were obtained from a stereo- and confocal microscope. Embryos are successfully removed from clutches with an osmotic medium, and the fibrillar actin dye phalloidin passes through the membranes of the embryo, thus staining is successful.

In the White Sea, two species of the genus *Lumbricillus* are known, *L. pagenstecheri* and *L. lineatus*, but they were not related to the studied species. The third species known in the BBS fauna, *L. murmanicus*, is not in the GenBank database; therefore, it can be concluded that the samples are either representatives of the *L. murmanicus* species described from the Murman coast, or are representatives of another known species that is not in the lists of the WSBS fauna (to date 92 species of the genus *Lumbricillus* are considered valid), or represent a species new to science. The development of the oligochaete is comparable to that of *Tubifex tubifex* and *Enchytraeus coronatus* and corresponds to the typical development for this group. Embryos are easily removed from cocoons, the phalloidin dye (Alexa Fluor 488) passes through the shell of the embryo. This, together with its wide distribution, makes the White Sea oligochaete a convenient object for further research.

Morphological and gene expression changes in early development of sea urchin *Strongylocentrotus pallidus* caused by LiCl

Vorotnikov A.^{1*}, Lazarev M.¹, Nikishin D.^{1,2}, Semenova M.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow

² Koltsov Institute of Developmental Biology of RAS, Moscow

* e-mail: v.alex.2001@yandex.ru

The determination of the anterior-posterior axis of the body in most of Eumetazoa is achieved through the Wnt/ β -catenin signaling pathway. At the early stages of development, intranuclear β -catenin accumulates in the vegetal part of the embryo in invertebrates from the clade of Deuterostomes. Later in development, those areas give rise to endomesodermal derivatives. In this study, we analyze morphological changes and shifts in expression level of germ layers derivatives markers in the embryo of the sea urchin *Strongylocentrotus pallidus* treated with vegetalising agent LiCl.

LiCl acts as inhibitor of GSK3 and therefore promotes β -catenin translocation into the nucleus. Different concentrations of LiCl (3, 10, and 30 mM) were added to embryonic cultures that were cultivated until gastrulation. Embryos morphology was analyzed at the stage of epithelized blastula. Pronounced thickening of the entire blastula wall was observed under the action of LiCl at a concentration of 30 mM, indicating vegetalisation of the embryos.

Embryos at the middle gastrula stage were fixed with an RNA stabilizing solution of IntactRNA, after which total RNA isolation, DNase I treatment and reverse transcription were performed. The obtained cDNA libraries were used for quantitative analysis of gene expression of neuroectoderm, endomesoderm, and skeletal mesenchyme markers by real-time PCR. Under the action of LiCl, a pronounced increase in the expression level of the endomesodermal markers FoxA (from 3 mM) and Endo16 (from 30 mM) and a decrease in the level of expression of the anterior neuroectoderm markers FoxQ2 (from 30 mM) and Six3 (from 10 mM) were observed. At the same time, no changes in the number of transcripts of the skeletal mesenchyme marker P19 under the action of LiCl were found.

In the course of the work, we analyzed structure of apical organ and skeletal elements in normal and exogastric larvae, which spontaneously emerge in embryonic culture, in order to find out the mechanism of the anomaly. We performed immunostaining for serotonin-containing cells and analyzed morphology of skeletal elements with polarized light microscopy. No significant differences were observed between two types of larvae. These facts indicate that anterior-posterior axis specification is not disrupted neither in normal nor in exogastric larvae.

The work was performed using the equipment of the Center for Microscopy of the White Sea Biological Station MSU and the Core Centrum of Institute of Developmental Biology RAS with the financial support of RFBR grant No. 20-04-00303.

Компоненты тканей улиток рода *Littorina*, регулирующие взаимодействие с ассоциированным микробиомом

Гафарова Е.Р. *, Мальцева А.Л., Горохов И.А., Курячий Д.С., Байазыт К.-Дж.К., Гранович А.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru, st047483@student.spbu.ru

Изучение прокариот, интегрированных в экологию и физиологию многоклеточных, значимо для эволюционных исследований. Прокариотические организмы могут иметь решающее значение для адаптации животных к занимаемой последними экологической нише, влияя на обмен веществ, развитие и поведение. Стабильность ассоциированных с животными бактериальных сообществ подразумевает функционирование механизмов, регулирующих состав таких ассоциаций. Наибольший интерес представляют активные эффекторы, проявляющие антимикробную активность, в частности, антимикробные пептиды. Эти вещества белковой природы могут иметь широкий спектр действия и через проявление бактерицидного или бактериостатического эффекта осуществлять регулирование ассоциированного микробного сообщества.

В качестве объекта нами выбраны микробные сообщества, ассоциированные с моллюсками рода *Littorina*. Анализ микробиомов, с которыми виды рода *Littorina* формируют стабильные ассоциации и механизмов регуляции этих ассоциаций — актуальная задача и в контексте частной биологии литторин, и с точки зрения исследования эволюционных процессов. Ранее анализ результатов 16S-рДНК-метабаркодинга образцов кишки, поверхности тела и биопленок среды обитания *Littorina* позволил нам выяснить ряд закономерностей, касающихся структуры микробных сообществ в ассоциации с этими улитками. Эти закономерности позволяют предположить наличие регуляторных механизмов в исследуемой системе.

Для выявления природы и места локализации антимикробных компонентов в организме литторин мы зафиксировали заселенные бактериями части тела моллюсков *L. littorea* (жабры, кишечник, протоки половой системы). Серии антимикробных тестирований показали, что тотальные экстракты всех собранных тканей *L. littorea* проявляют антимикробную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. Состав активных экстрактов был изучен с применением ЖХ-МС/МС с последующей идентификацией компонентов по тканевому транскриптому *L. littorea*. На основе молекулярных свойств (длина полипептидной цепочки, наличие сигнального пептида, аминокислотный состав, рI и пр.) были выбраны шесть пептидов-кандидатов, предположительно вовлеченных в реализацию или регуляцию антимикробной активности. Например, галаксин-подобный белок (галаксин — антимикробный пептид, вовлеченный в регуляцию взаимоотношений *Euprymna scolopes* с симбиотическими вибрионами). Кроме того, пептиды с НМГА-доменами, эпендимин-подобными доменами и эрдистероид-связывающими доменами, которые известны как участники антимикробного ответа беспозвоночных.

Чтобы верифицировать предсказанное участие отобранных пептидов в иммунном ответе, было произведено экспериментальное ранение с инфицированием улиток рода *Littorina*. От экспериментальных животных были собраны различные части тела (голова, нога, гепатопанкреас, остальные ткани висцерального мешка) для оценки возможного изменения уровня экспрессии. Данные, полученные на текущий момент, демонстрируют повышение уровня экспрессии большинства пептидов-кандидатов висцеральных органах моллюсков.

Работа выполнена при поддержке РФФ 19-14-00321-П и ресурсных центров СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Обсерватория экологической безопасности».

Littorina snails' tissue components regulating their interaction with the associated microbiome

Gafarova E. *, Maltseva A., Gorohov I., Kuriachii D., Bayazit K.-C., Granovitch A.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru, st047483@student.spbu.ru

We study microorganisms living in stable association with *Littorina* snails. Our previous results showed some patterns in associated microbiome composition. We presume that the system is mediated via antimicrobial peptides produced by host. Both, experimental data and *in silico* predictions detected a number of substances, possibly involved in host-microbiome interactions.