



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



Учебно-научная база  
«Беломорская»

# Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2022

Тезисы докладов

Санкт-Петербург  
2022

Ответственный редактор:

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

Редакторы:

*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 станции «Картеш» Зоологического института РАН*

*Н. В. Максимович, д. б. н., профессор, заведующий кафедрой ихтиологии и гидробиологии СПбГУ*

*А. В. Зимин, д. г. н., заведующий лабораторией геофизических пограничных слоев, Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН*

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

*К. В. Галактионов, д. б. н., профессор, Зоологический институт РАН*

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

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

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

*О. В. Князева, ассистент кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

**Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2022.** Тезисы докладов. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2022. — 86 с.

ISBN 978-5-4386-2110-2

В сборнике собраны материалы докладов, представленных на конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2022» (2 февраля 2022 г., Санкт-Петербург). Это мероприятие уже не в первый раз объединяет широкий круг молодых исследователей, чьи интересы связаны с Арктикой. Конференция из года в год поддерживает традиции междисциплинарных работ и способствует открытому общению студентов как со сверстниками из смежных научных областей, так и со старшими коллегами из ведущих учебных и научных заведений. Программа конференции включает устные доклады приглашенных ученых и студентов, а также обширный спектр постерных докладов, сгруппированных в пять тематических разделов: (1) экология; (2) океанология, геология и почвоведение; (3) эмбриология и молекулярная биология; (4); зоология и (5) паразитология. Формат сборника предполагает изложение материала на двух языках (русском и английском) для облегчения взаимодействий с мировым научным сообществом. Участники конференции представляют более двадцати организаций (вузы, научные институты, заповедники, учреждения дополнительного образования) из разных городов России.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

*Ivanov B. V.*

Natural climatic and hydrological seasons in the West Spitsbergen area according to instrumental observations in the XX–XXI centuries ..... 10

*Панчин Ю. В.*

Нейробиология морского ангела ..... 11

*Хайтов В. М., Ковалев А. А., Стрелков П. П.*

Факторы, стоящие за распределением *Mutilus edulis* и *M. trossulus* в Кандалакшском заливе Белого моря..... 12

## УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

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

Взаимодействие кишечнорастворимого *Saccoglossus mereschkowskii* с морскими грибами ..... 13

*Исламова Р. Т., Зуй Е. С., Яньшин Н. А., Биркемайер К., Тараховская Е. Р.*

Водоросль, которая редко видит воду: биохимические адаптации бурой водоросли *Pelvetia canaliculata* к жизни у верхней границы литорали..... 14

*Ловдина Т. И., Аксенов А. С., Воробьева Т. Я., Забелина С. А., Чупаков А. В., Морева О. Ю.*

Анализ структуры микробных сообществ в пресноводном меромиктическом озере европейской субарктики — современном аналоге раннепротерозойского океана ..... 15

*Киракосян Д. В.*

Анализ экологических последствий аварийного разлива нефтепродуктов в Норильске ..... 16

*Бородин Н. А., Белоконь М. Е., Хабибулина В. Р., Мелехин М. С.*

Инфузория *Ophryodendron abietinum*: положение в системе подкласса Suctorina и первые молекулярно-филогенетические данные о её бактериальных симбионтах..... 17

*Kuznetsov P., Konovalova O., Stepanova N., Temereva E.*

New data on the gonodust structure in *Hamingia arctica* (Annelida: Bonellinae)..... 18

*Babina P., Kondakova E., Ivanov M., Ivanova T., Smirnova K., Lajus D., Kozin V.*

Thyroid morphology in three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) development..... 19

*Лисова Е. Д., Ворцепнева Е. В.*

Регенерация голожаберных моллюсков на примере *Onchidoris muricata* (Doridina) ..... 20

*Урядова А. А., Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю.*

Вкусившие крови: влияет ли переход к гематофагии на строение пищеварительной системы и покровов у трематод *Fellodistomum fellis* (Digenea: Fellodistomidae)?..... 21

*Еньшина И. К., Шунатова Н. Н., Крупенко Д. Ю., Кремнев Г. А., Миролюбов А. А.*

Микроанатомия эндопаразитической копеподы *Nucellicola* sp. (Crustacea: Copepoda) ..... 22

*Юрикова Д. А., Савченко А. С., Прудковский А. А.*

Жизненный цикл загадочных беломорских монстров (Copepoda: Monstrilloida) ..... 23

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ЭКОЛОГИЯ

#### **E01**

Подлевских А. Л., Демчук А. С., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л.

Проявление каннибализма у беломорской трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) в период нереста ..... 24

#### **E02**

Мелентьев Д. А., Демчук А. С., Иванова Т. С., Иванов М. В., Зеленская А. Е., Лайус Д. Л.

Сезонные изменения питания европейского керчака (*Muohoscephalus scorpius*) в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря ..... 25

#### **E03**

Лихачева Г. В., Лепихина П. П., Кузнецов П. А., Белов Д. А., Коновалова О. П., Степанова Н. Б.

Количественное распределение пяти групп макрозообентоса желоба Святой Анны (Карское море)..... 26

#### **E04**

Липухин Э. В., Осипова Д. Д., Юрикова Д. А., Коновалова О. П., Кособокова К. Н., Осадчиев А. А., Степанова Н. Б.

Макрозоопланктон желоба Святой Анны (Карское море): видовой состав и распределение в августе 2021 года..... 27

#### **E05**

Осипова Д. Д., Липухин Э. В., Юрикова Д. А., Коновалова О. П., Кособокова К. Н., Осадчиев А. А., Степанова Н. Б.

Видовой состав и распределение мезозоопланктона желоба Святой Анны (Карское море) ..... 28

#### **E06**

Тимофеева М. А., Герасимова А. В. Максимович Н. В.

Классификация явлений в организации макробентоса в сублиторальной зоне губы Чупа Белого моря ..... 29

#### **E07**

Ковалев А. А., Хайтов В. М.

Сила прикрепления биссуса у криптических видов мидий р. *Mytilus* в условиях стресса, обусловленного пониженной соленостью ..... 30

#### **E08**

Герасимова М. А., Ковалев А. А., Сухотин А. А.

Дыхание беломорских мидий *Mytilus edulis* на организменном и тканевом уровнях ..... 31

#### **E09**

Ivankovich Y. V., Martynova D. M.

Effect of drilling fluids of different composition on mollusk larvae (*Hiatella* sp.) ..... 32

#### **E10**

Культенко В. П., Константинов А. Ю.

Влияние угольной пыли на экологию и здоровья человека (на примере города Мурманска) ..... 33

#### **E11**

Lemesheva V., Islamova R., Birkemeyer C., Stepchenkova E., Tarakhovskaya E.

Protective function of brown algal phlorotannins: antibiotic activity against the model unicellular organisms ..... 34

**E12***Яньшин Н. А., Лемешева В. С., Биркемайер К., Тараховская Е. Р.*

Особенности биохимического состава красных водорослей порядков Gigartinales и Ceramiales ..... 35

**E13***Филимонов И. И., Ефименко Е. М., Дюмина А. В., Булавинова В. И., Унтилова А. А.*

Приложение концепции о мозаичности к структуре литоральных сообществ Дальнезеленецкой губы Баренцева моря..... 36

**E14***Арзуманьян С. А., Ефименко Е. М., Дюмина А. В., Унтилова А. А., Булавинова В. И.*Изучение пищевого поведения хищных брюхоногих моллюсков *Nucella lapillus* в Ярнышной губе Баренцева моря..... 37**E15***Гаерилова Е. О., Аристов Д. А.*

Опыт применения кальцеина для создания прижизненных меток у морских и пресноводных моллюсков..... 38

**ОКЕАНОЛОГИЯ, ГЕОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ****G01***Маховиков А. Д., Смагин Р. Е., Иванов М. В., Иванова Т. С.*

Океанологические и ихтиологические наблюдения в Кандалакшском заливе Белого моря зимой 2021 г. .... 39

**G02***Нурлибаева А. С., Джамалова А. Г., Витинг К. Б., Осадчиев А. А., Фрей Д. И., Степанова Н. Б.*

Пространственная изменчивость баренцевоморской водной массы по данным натурных наблюдений в жёлобе Святой Анны за август 2021 года..... 40

**G03***Каледина А. С., Травкин В. С., Кузьмина С. К., Смагин Р. Е., Петросян Н. В.*

Батиметрическая съемка морской акватории и озёр Керетского архипелага..... 41

**G04***Кузьмина С. К., Виноградов М. В., Иванов К. Д., Смагин Р. Е.*

Особенности водообмена в лагуне Колюшковая и проливе Сухая Салма ..... 42

**G05***Мальшиева А. С., Каледина А. С., Ретинская Н. Г., Смагин Р. Е.*

Пространственное распределение физико-биологических характеристик устья реки Кереть ..... 43

**G06***Крыжова К. А., Едигарева М. В., Смагин Р. Е.*

О гидрологии эстуарного водоема «Подпахта — бухта Лебяжья» ..... 44

**G07***Саимирзаева Н. А., Устинова Т. С., Морозова С. М., Петросян Н. В., Смагин Р. Е.*

Жёлтое вещество в водах устьевой области р. Кереть (по результатам наблюдений 2016–2021 гг.) 45

**G08***Низамутдинов Т. И., Моргун Е. Н., Сулейманов А. Р.*

Морфологические и физико-химические свойства эталонного агрозема Ямала ..... 46

**G09**

Яркова Д. Д.

Общая характеристика ксенолитов пироксенитов из даек и трубок взрыва, Кандалакшский грабен, Беломорье ..... 47

**G10**

Санчес Родригес С. Х., Меркурьев С. А.

Сравнительная характеристика структуры и эволюции ультра-медленных хребтов Гаккеля и Юго-Западного Индийского..... 48

**ЭМБРИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ****M01**

Skorentseva K., Saidova A., Lavrov A.

Actin cytoskeleton in calcareous sponge cells: regulatory proteins and involvement in the regeneration.. 49

**M02**

Vetrova A., Kupaeva D., Petri N., Bredov D., Luchinskaya N., Kremnyov S.

Dlx gene expression during morphogenesis of the colony in a marine hydroid *Dynamena pumila* ..... 50**M03**

Андропова Е. И., Колбасова Г. Д., Кремнев С. В.

*Spirorbis spirorbis* (Linnaeus, 1758) — перспективный модельный объект для исследования эволюции механизмов становления лево-правой асимметрии тела у Spiralia..... 51**M04**

Астер К. З., Старунов В.В., Старунова З. И., Новикова Е. Л.

Клеточные источники формирования бластемы в ходе регенерации седентарной аннелиды *Rygospio elegans* (Spionidae)..... 52**M05**

Shalaeva A., Denisova S., Kozin V.

Towards deciphering signaling interactions, cellular populations, and ultrastructural changes at the early stages of *Alitta virens* regeneration ..... 53**M06**

Кайров А. И., Костюченко Р. П., Козин В. В.

Определение вовлеченности Wnt-сигналинга в процессы формирования ларвальных и постларвальных сегментов у *Alitta virens* ..... 54**M07**

Амосов А. В., Костюченко Р. П.

Дупликация ParaNox генов в линии олигохет ..... 55

**M08**

Smolyaninova A., Solovyeva A., Podgornaya O.

Investigation of mobile elements expression at different stages of trematode *Himasthla elongata* life cycle..... 56**M09**

Гафарова Е. Р., Мальцева А. Л., Гранович А. И.

Антимикробная активность в тканях *Littorina littorea* ..... 57

## ЗООЛОГИЯ

### Z01

Войтинский Ф. П.

Новый вид рода *Vannella* Vovee, 1965 (Amoebozoa, Discosea), из Средиземного моря: морфология, филогения и отношение к солености среды ..... 58

### Z02

Кремнев С. В., Лебедева Т. С., Ветрова А. А., Прудковский А. А.

Разнообразие фенотипов гонофоров у генетически полиморфных гидроидов *Sarsia lovenii* (Hydrozoa: Corynidae) из Белого моря..... 59

### Z03

Домрачева М. М., Хабибулина В. Р.

Морфологический анализ нервной и мышечной системы ропалоидов *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — новый взгляд на функции адгезионных органов ..... 60

### Z04

Яковлева А. И., Прудковский А. А., Ворцелнева Е. В.

Новые данные об ультратонком строении эпителиев гребневика *Beroe cucumis* ..... 61

### Z05

Лихачева Г. В., Чернева И. А.

Анатомия переднего конца *Arctostemma arcticum* (Monostilifera, Nemertea)..... 62

### Z06

Пименов Т. П., Римская-Корсакова Н. Н.

Строение мозга и иннервация жаберно-лучевого аппарата веерных червей Sabellidae (Sedentaria, Annelida)..... 63

### Z07

Бармасова Г. А., Старунов В. В., Старунова З. И., Новикова Е. Л.

Строение катехоламинергической нервной системы *Pygospio elegans* ..... 64

### Z08

Канафина М. М., Римская-Корсакова Н. Н.

Строение трофосомы френулятных погонофор (Siboglinidae, Annelida) ..... 65

### Z09

Кроленко В. И., Цетлин А. Б., Колбасова Г. Д.

Некоторые аспекты внутреннего строения *Saobangia billeti* Giard 1893 (Sabellida, Fabriciidae)..... 66

### Z10

Grishina D., Schepetov D., Ekimova I.

Integrative taxonomy and phylogeography *Eubbranchus rupium-exiguus* (Gastropoda: Nudibranchia) species complex ..... 67

### Z11

Шапкина А. О., Абызова Г. А., Никитин М. А., Неретина Т. В.

Филогеография морских чертей *Limacina helicina* (Gastropoda: Pteropoda) из Арктических морей..... 68

### Z12

Иванова О. В., Борисанова А. О.

Микроскопическая анатомия плавающих и ползающих личинок Entoprocta на примере видов *Varensia gracilis* (Sars, 1835) и *Loxosomella varians* Nielsen, 1964..... 69

**Z13**

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

Фуникулярные тела *Dendrobeatia fruticosa* (Bryozoa: Cheilostomata) как динамическая система .... 70

**Z14**

Власов Г. С., Богданов Е. А., Островский А. Н.

Ранние этапы формирования плацентарного аналога у *Crisiella producta* (Bryozoa, Cyclostomata) . 71

**Z15**

Ратновская А. В.

Организация мускулатуры мантии брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Rhynchonelliformea: Rhynchonellida)..... 72

**Z16**

Tsvetkova A., Tumanov D.

Investigation of limnoterrestrial tardigrade fauna of Spitsbergen using integrative taxonomy approach ... 73

## ПАРАЗИТОЛОГИЯ

**P01**

Фролова Е. В., Камышацкая О. Г., Паскерова Г. Г., Смирнов А. В., Насонова Е. С.

Прижизненные светомикроскопические наблюдения и тонкое строение споры *Metchnikovella* sp. (Opisthokonta: Microsporidia) — паразита грегарин *Lecudina* sp. из кишечника полихеты

*Alitta virens*..... 74

**P02**

Logvinenko A. D., Gordeev I. I.

Metazoan parasites of a few marine fish near White Sea Biological Station (Lomonosov MSU)..... 75

**P03**

Харитонов Д. Э.

Внешняя морфология, анатомия и внутривидовая изменчивость *Pseudanthobothrium hanseni*

(Platyhelminthes, Cestoda) ..... 76

**P04**

Зенков Е. А., Зурахов М. Н., Аристов Д. А.

Экстенсивность инвазии мелких брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae* трематодами на разных субстратах на литорали Белого моря .....

77

**P05**

Белоловская К. И., Ежова О. В., Крупенко Д. Ю., Лукиных А. И., Малахов В. В.

Первая находка трематод (Digenea) в кишечнодышащих полухордовых..... 78

**P06**

Скобкина О. А., Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю.

Строение и развитие цистофорных церкарий *Lecithaster salmonis*..... 79

**P07**

Гублер А. Г., Кремнев Г. А., Скобкина О. А., Урядова А. А., Крупенко Д. Ю.

Трематоды рода *Podocotyle* (Digenea: Oresocelidae) в прибрежных экосистемах Белого и Баренцева морей .....

80

**P08**

Кремнев Г. А., Гончар А. Г., Крапивин В. А., Урядова А. А., Миролюбов А. А., Крупенко Д. Ю.

Что представители рода *Neophasis* (Digenea: Acanthocolpidae) могут рассказать о причинах



возникновения вторично двуххозяиных жизненных циклов трематод?..... 81

**P09**

Павлова П. А., Репкин Е. А., Мальцева А. Л., Панова М. В., Варфоломеева М. А., Данилов Л. Г., Гранович А. И.

Последствия заражения трематодами на метаболомном и транскриптомном уровне в системе хозяин–паразит «моллюски *Littorina*–партениты трематод *Microphallus* spp.»..... 82

**P10**

Федоров Д. Д., Николаев К. Е., Виноградова А. А., Левакин И. А., Галактионов К. В.

Нет времени расслабляться: инвазионная способность разновозрастных церкарий в условиях субарктической литорали ..... 83

**P11**

Арбузова Н. А., Лянгузова А. Д., Лапшин Н. Е., Ласкова Е. П., Миролюбов А. А.

Мышечная система корнеголового ракообразного с модульной организацией интерны *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala) ..... 84

**P12**

Лапшин Н. Е., Лянгузова А. Д., Арбузова Н. А., Ласкова Е.П., Еньшина И. К., Миролюбов А. А.

Интеграция в нервную систему хозяина и структура интерны представителя паразитических ракообразных *Lernaeodiscus rybakovi* (Cirripedia: Rhizocephala)..... 85

**P13**

Lianguzova A., Laskova E., Arbuzova N., Lapshin N., Miroljubov A.

Body snatchers that cause split consciousness in crabs: two parasitic barnacles in the nervous system of one host..... 86

**Natural climatic and hydrological seasons in the West Spitsbergen area according to instrumental observations in the XX–XXI centuries**

*Ivanov B. V.\**

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg  
Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg

\* e-mail: b\_ivanov@aari.ru

Natural climatic seasons objectively reflect the regularity and features of the climate of individual regions, its changes and variability. Determining the natural seasons for West Spitsbergen is an urgent task. This area, including the adjacent waters of the Greenland Sea (Fram Strait), is most fully illuminated by instrumental observation data, both in the ocean and in the atmosphere. The materials for this study were composite series of monthly mean values of surface air temperature (SAT) for the period 1911–2020, calculated from the data of instrumental measurements performed at the “Barentsburg” Hydro Meteorological Observatory (HMO). The main natural seasons of the year: “winter” (November–April), “spring” (May), “summer” (June–September), “autumn” (October) are distinguished by the nature of long-term variability and by the absolute values of the mean monthly SAT values. Two-dimensional (in space and time) typification of the vertical distribution of water temperature in the Norwegian and Greenland Seas was carried out using data from 28.5 thousand oceanographic stations. The main types of water stratification and their seasonal variability have been established. The following hydrological seasons have been identified for the coastal waters of West Spitsbergen: “winter” (November–June), “spring” (July–August), “summer” (late August — early September), and “autumn” (September–October). The consistency of natural climatic and hydrological seasons for the West Spitsbergen area has been established.

## Нейробиология морского ангела

Панчин Ю. В.\*

НИИ физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского, отдел математических методов в биологии,  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

\* e-mail: ypanchin@yahoo.com

Морской моллюск *Clione limacina* является удобным модельным организмом для электрофизиологических исследований. Детально изучены паттерны активности различных нейронов, участвующих в большинстве проявлений поведения (локомоция, охота и т. д.). Разные формы поведения удается описать на уровне бифизических свойств и связей отдельных идентифицированных нейронов.

Например, *Clione limacina* плавает за счет ритмичных движений двух крыльев. Центральный генератор паттернов (ЦПГ) плавания, расположенный в педальных ганглиях, образован тремя группами интернейронов. Интернейроны групп 7 и 8 имеют решающее значение для генерации ритма. Это эндогенные осцилляторы, способные генерировать ритмическую активность с диапазоном частот, типичных для плавания, после экстракции из ганглиев. Эта эндогенная ритмическая активность усиливается серотонином. Интернейроны 7 и 8 производят один пролонгированный потенциал действия (длительностью около 100 мс) за цикл. Пролонгированные потенциалы действия способствуют определению продолжительности фаз цикла. Интернейроны двух групп тормозят друг друга, определяя их реципрокную активность. Предполагаемыми медиаторами интернейронов групп 7 и 8 являются глутамат и ацетилхолин соответственно. Переходу из одной фазы в другую способствуют плато интернейроны группы 12, которые способствуют завершению одной фазы и инициированию следующей фазы. Поддержанию генерации ритма и перехода из одной фазы в другую также способствует посттормозной отскок. Дублирующая организация плавательного генератора гарантирует высокую надежность его работы. Генерация плавательного результата сохранялась после того, как ингибирующий вход интернейронов с 8 по 7 был заблокирован атропином. Активность генератора плавания контролируется набором командных нейронов, которые активируют, подавляют или модулируют работу ЦПГ плавания в зависимости от поведенчески релевантного контекста.

Можно полностью изолировать центральную нервную систему и одновременно регистрировать электрическую активность локомоторных мотонейронов моллюска *Clione*. Полная сенсорная депривация — это устранение всех сенсорных входных раздражителей. Все органы чувств, такие как глаза, стагоцисты и обонятельные ганглии, непосредственно прикрепленные к изолированному мозгу, могут быть специально удалены, чтобы привести организм в состояние полной сенсорной депривации. Даже без всех входов изолированный мозг *C. limacina* поддерживает медленную эндогенную активность, которую можно рассматривать как связанную с механизмами чередования активности-покоя (например сна) у других животных.

## Neurobiology of sea angel

Panchin Y. V.\*

A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow

\* e-mail: ypanchin@yahoo.com

The marine mollusk *Clione limacina* is a well-suited model organism for electrophysiological studies. Patterns of activity for different neurons involved in most behavior manifestations (locomotion, hunting, etc.) are thoroughly studied. It is possibility to completely isolate the central nervous system of this organism and put it into full sensory deprived state.

## Факторы, стоящие за распределением *Mytilus edulis* и *M. trossulus* в Кандалакшском заливе Белого моря

Хайтов В. М.<sup>1,3\*</sup>, Ковалев А. А.<sup>1,4</sup>, Стрелков П. П.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

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

<sup>4</sup> Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция «Картеш», Санкт-Петербург

\* e-mail: polydora@rambler.ru

Экологические аспекты взаимоотношений «криптических» видов мидий *Mytilus edulis* (МЕ) и *M. trossulus* (МТ), сосуществующих в Кандалакшском заливе, не изучены. Мы предприняли попытку разграничить экологические ниши симпатрических мидий. В исследовании мидии определялись по морфотипам раковины, различающимся по паттерну закладки перламутра. Т-морфотип представлен у 74% МТ, Е-морфотип, у 96% МЕ. Это позволило с определенной вероятностью идентифицировать виды, вовлекая в анализ массовые сборы.

В основе работы — данные по частотам морфотипов в поселениях 95 участков побережья, для которых определили соленость, степень прибойности, субстрат обитания мидий и удаленность от ближайшего порта. Для интерпретации выявленных связей привлекались экспериментальные данные и анализ данных многолетнего мониторинга поселений мидий вершины залива.

Регрессионный анализ показал, что влияние на долю МТ оказывают тип субстрата (частота МТ выше на фукоидах, чем на грунте), степень прибойности (доля МТ выше в затишных участках) и расстояние до порта (частота МТ выше возле портов). Таким образом, два вида, сосуществующих в симпатрии, демонстрируют расхождение по экологическим нишам. В основе расхождения могут лежать различия в характеристиках биосуса и толщине раковин. Действительно, удалось показать, что Т-морфотипы прикрепляются к субстрату крепче, а толщина раковин у них тоньше, чем у Е-морфотипов. Возможно, это позволяет первым лучше удерживаться на таломас фукоидов, а вторым выдерживать удары волн. Интересно, что наши данные не выявили разделения ниш в градиенте солености, хотя соленость рассматривается как ключевой фактор сегрегации МЕ и МТ в Балтийском море.

Повышенная частота МТ возле портов согласуется с гипотезой об инвазивной природе МТ в Белом море. Анализ коллекций раковин, собранных в вершине залива в разные годы, показал, что в прошлом веке частота Т-морфотипов была низка; быстрый рост начался после 2001 и продолжается по сей день (2021 г.). Мы полагаем, что этот процесс был запущен в 2000 г., когда отмечалась массовая смертность мидий и других гидробионтов в вершине залива, вызванная нештатным сбросом пресной воды из водохранилища Нивской ГЭС.

Мы показали, что экофизиологические показатели МЕ снижаются если они живут в окружении МТ. Это позволяет считать МТ более сильным конкурентом, способным вытеснить МЕ. Однако распространение инвазии МТ, возможно, сдерживается хищниками (морские звезды и кулики-сороки), которые более охотно атакуют МТ.

*Проект выполняется при поддержке Российского научного фонда грант № 19-74-20024. Авторы благодарны А. А. Сухотину, М. В. Католиковой и М. В. Иванову за предоставленные сборы мидий.*

## Factors behind the distribution of *Mytilus edulis* and *M. trossulus* in the Kandalaksha Bay of the White Sea

Khaitov V.<sup>1,3\*</sup>, Kovalev A.<sup>1,4</sup>, Strelkov P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Invertebrate zoology department, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, Ichthyology and hydrobiology department, Saint-Petersburg

<sup>3</sup> Kandalaksha state nature reserve, Kandalaksha

<sup>4</sup> Zoological institute RAS, White Sea Biological Station “Kartesh”, Saint-Petersburg

\* e-mail: polydora@rambler.ru

Ecological aspects of relationship between *Mytilus edulis* and *M. trossulus* were studied. The distribution of “cryptic” mussel species *M. edulis* and *M. trossulus* in Kandalaksha Bay of the White Sea is goverbed by both contemporary environmental factors (type of substrate, degree of wave exposure, but definitely not salinity) and historical factors. The invasive species *M. trossulus* gravitates towards harbor areas, through which it appears to have entered the region.

## УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

### Взаимодействие кишечнодышащего *Saccoglossus mereschkowskii* с морскими грибами

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

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

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

Взаимодействие морских грибов с животными изучено в очень небольшой степени. Первые исследования относятся к началу XX века: Мортенсен описал болезнь иглокожих *Rhynochocydaris* и *Stenocidaris*, вызываемую грибоподобным организмом *Echinophyces mirabilis*. Во второй половине XX века изучались взаимодействия морских грибов с мшанками, губками, кораллами, голотуриями, моллюсками, ракообразными, иглокожими. Взаимодействие морских грибов с полухордовыми кишечнодышащими не исследовалось. Кишечнодышащие — одиночные червеобразные животные, роющие норки в донном осадке или ведущие эпибентосный образ жизни. Их мягкое тело защищено только слизью, обильно выделяемой покровным эпителием. Слизь защищает этих животных от поедания хищниками. Мы предположили, что слизь может также защищать кишечнодышащих и от морских плесневых грибов. В качестве удобного и доступного объекта для проверки этой гипотезы было выбрано беломорское кишечнодышащее из семейства Harrimaniidae — *Saccoglossus mereschkowskii* (Wagner, 1885).

Для проверки гипотезы были поставлены задачи: сделать посев *S. mereschkowskii*, ила и морской воды, по мере роста грибов осуществлять посев в чистую культуру, определить таксономическое положение грибов, при появлении грибов на *S. mereschkowskii* провести сравнение их состава с таковым на иле и в морской воде.

Первый этап работы был проведён в августе 2021 года на ББС МГУ имени Н. А. Перцова.

Всего было сделано по 10 посевов *S. mereschkowskii* от 5.08.21 и 15–16.08.21, 5 посевов ила от 7.08.21 и по 5 посевов морской воды от 7.08.21 и 15.08.21. На посевах *S. mereschkowskii* не были найдены мицелиальные морские грибы. На посевах *S. mereschkowskii* №1, 2, 3, 5, 10 от 5.08.21. были обнаружены дрожжи. На посевах №9 ничего не появилось. В посевах ила, из образца № 1 было выделено 9 морфотипов грибов, №2 — 7 морфотипов, №3 — 11 морфотипов, №4 — 5 морфотипов и №5 — 7 морфотипов. В посевах морской воды обнаружены мицелиальные и дрожжевые грибы: образец №1 — 3 морфотипа, №2 — 2 морфотипа, №3 — 2 морфотипа, №4 — 4 морфотипа, №5 — 2 морфотипа.

На следующем этапе работы мы планируем идентифицировать морские грибы, выросшие на образцах ила и морской воды, а также провести более детальное изучение взаимодействия морских грибов с *S. mereschkowskii*: искусственное заражение особей кишечнодышащих грибами, выросшими из образцов ила и морской воды, посев данных грибов на питательную среду с кишечнодышащими, посев внутренних органов кишечнодышащих. Кроме того, мы планируем провести отдельные эксперименты между слизью кишечнодышащих и грибами, полученными из ила и морской воды.

### Interaction between *Saccoglossus mereschkowskii* (Hemichordata, Enteropneusta) and sea fungi

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

Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Moscow

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

Slime might protect enteropneusts from sea fungi. *Saccoglossus mereschkowskii* was chosen to prove this hypothesis. Mycelial fungi have been absent on *Saccoglossus* inoculations on medium. Different morphotypes of fungi were found on silt and sea water. We plan to infect enteropneusts by fungi artificially and inoculate organs of enteropneusts on media.

## **Водоросль, которая редко видит воду: биохимические адаптации бурой водоросли *Pelvetia canaliculata* к жизни у верхней границы литорали**

Исламова Р. Т.<sup>1\*</sup>, Зуё Е. С.<sup>1</sup>, Яньшин Н. А.<sup>1</sup>, Биркемайер К.<sup>2</sup>, Тараховская Е. Р.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Университет Лейпцига, факультет химии и минералогии, Лейпциг, Германия

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

*Pelvetia canaliculata*, миниатюрная бурая водоросль, в изобилии встречающаяся на скалистых берегах северных морей, — один из самых необычных представителей порядка Fucales. Это однолетнее растение, вся жизнь которого проходит в тесной ассоциации с эндофитным грибом, проникающим в ткани пельвеции еще на этапе эмбриогенеза. Типичное местообитание *P. canaliculata* — трещины и выбоины скал у верхней границы литорали. Таким образом, в отличие от средне- и нижнелиторальных фукоидов, эта водоросль проводит под водой лишь очень непродолжительное время, и большую часть приливно-отливного цикла находится на осушке, подвергаясь воздействию солнечной радиации, ветра и резких колебаний температуры. Более того, во время невысоких квадратурных приливов пельвеция может не погружаться под воду в течение нескольких циклов подряд. Целью данной работы является изучение биохимических и физиологических адаптаций, позволивших *P. canaliculata* успешно освоить столь нетипичное и, на первый взгляд, неблагоприятное для макроводоросли местообитание.

Сбор материала проводили на северных берегах о. Средний Керетского архипелага (Белое море). Водоросли собирали в период сизигийных приливов на четырех фазах цикла: малая вода, прилив, большая вода и отлив. Дополнительно был поставлен эксперимент, имитирующий условия квадратурного приливного цикла — водоросли выдерживали на осушке в течение 3 суток, после чего вновь помещали в воду. Были исследованы следующие параметры: степень увлажненности талломов пельвеции, свободная и связанная кислотность тканей, содержание пероксида водорода и малонового диальдегида (МДА), а также профиль низкомолекулярных метаболитов (ГХ-МС-анализ).

Было показано, что в течение приливного цикла содержание воды в талломах пельвеции может составлять от 20 до 68% сыр. массы. Такая большая амплитуда колебаний увлажненности совершенно нетипична для засухоустойчивых высших растений и, скорее, ассоциируется с адаптационной стратегией лишайников. При этом условия, являющиеся летальными для большинства многоклеточных фотосинтезирующих организмов, не вызывают у *P. canaliculata* накопления в тканях биохимических маркеров стресса ( $H_2O_2$ , МДА). Небольшие колебания содержания  $H_2O_2$ , по-видимому, указывают на сигнальную роль этой молекулы в процессах перестройки метаболизма водоросли для функционирования в разной среде (в воде или на воздухе). Неконтролируемая генерация  $H_2O_2$  в клетках пельвеции с последующей активацией процессов перекисного окисления липидов и накоплением МДА наблюдалась только после трехдневной осушки.

Циклические колебания кислотности тканей и содержания ряда метаболитов указывают на то, что одной из физиологических адаптаций пельвеции к резким колебаниям увлажненности может быть САМ-фотосинтез — специфический тип фотосинтеза, характерный для высших растений засушливых местообитаний.

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

## **The alga, seldom facing water: the biochemical adaptations of the brown alga *Pelvetia canaliculata* to the life in the high-intertidal zone**

Islamova R.<sup>1\*</sup>, Zuy E.<sup>1</sup>, Yanshin N.<sup>1</sup>, Birkemeyer C.<sup>2</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Leipzig University, Faculty of Chemistry and Mineralogy, Leipzig, Germany

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

High-intertidal brown alga *Pelvetia canaliculata* showed extraordinary resistance to desiccation, loosing up to 50% of water during the low tide without considerable damage to the physiological processes. The oscillations of thallus acidity imply that CAM-photosynthesis may be involved in *Pelvetia* adaptation to the systematic dehydration induced by the tidal cycle.

## Анализ структуры микробных сообществ в пресноводном меромиктическом озере европейской субарктики — современном аналоге раннепротерозойского океана

Ловдина Т. И.<sup>1,2\*</sup>, Аксенов А. С.<sup>1,2</sup>, Воробьева Т. Я.<sup>1</sup>, Забелина С. А.<sup>1</sup>, Чураков А. В.<sup>1</sup>, Морева О. Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаврова УрО РАН, Архангельск

<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра биологии, экологии и биотехнологии, Архангельск

\* e-mail: tanya.lovdina@yandex.ru

Микробные сообщества меромиктических озер Арктики мало изучены по сравнению со своим аналогами в умеренных и тропических районах. Меромиктические озера благодаря химической стратификации, окислительно восстановительным процессам являются уникальными объектами исследования для понимания как современных, так и древних водных экосистем. В структуре меромиктических озер выделяют три зоны: миксолимнион, монимолимнион и хемоклин — слой с резкими изменениями гидрохимических характеристик и сложным микробным сообществом.

Объект исследования — озеро Светлое (водосборный бассейн Белого моря, Архангельская область; N 65°04, E 041°06) относится к редкому типу пресноводных меромиктических озер, из-за меромиксии железомарганцевого типа является современным аналогом древнего архейского раннепротерозойского океана (древнее 2,5–2,4 млрд. лет). Максимальная глубина водоема ~ 39 м. Подстилающие породы озера Светлое сформированы четвертичными отложениями ледникового происхождения (мощность 25–30 м), далее алевролитами и песчаниками падуновской свиты венда (мощность — 150 м).

Отбор проб воды производился в апреле 2021 года горизонтальным батометром Aquatic Research на горизонтах 22,5 (хемоклин) и 33 м (монимолимнион). Микробные клетки из 250 мл каждой пробы воды концентрировали на нитроцеллюлозных мембранных фильтрах с размером пор 0,22 мкм (GSWP 4700, Millipore, США) с помощью поликарбонатных установок (Sartorius, Германия). Выделение ДНК осуществляли смесью хлороформ: изоамиловый спирт (24:1), секвенирование амплифицированных участков гена 16S рРНК проводили на платформе MiSeq (Illumina, США, 2016) в ВНИИСХМ (г. Пушкин), результаты обрабатывали в программах «Trimmomatic» и «QIIME».

Распределение бактерий в хемоклине имело следующий характер: на 22,5 м преобладали Cyanobacteria (25 % от общего числа считываний 16S рРНК), которые представлены порядком Synechococcales. Благодаря их высокой численности воды хемоклина имеют розовый оттенок. Концентрация других типов бактерий этой зоны составила Proteobacteria (19,7%), Bacteroidota (17,5%), Actinobacteriota (6,4%), Desulfobacterota (3,8%) и Verrucomicrobiota (1,7%). Количество архей в хемоклине менее 0,1%.

Микробные сообщества монимолимниона (27–35 м) включают 3,7% архей и представлены типом Halobacterota. Концентрация типов бактерий этой зоны составляла Cyanobacteria (16,7%), Proteobacteria (19,7%), Bacteroidota (9,9 %), Actinobacteriota (3,4 %) Desulfobacterota (9,1 %), и Verrucomicrobiota (2,3%). Концентрация рода *Candidatus* Omnithrophus, к которым относятся магнитотаксисные виды, возросла с глубиной в 6 раз. Количество микроорганизмов рода *Chlorobium*, окисляющих сероводород, увеличилось в монимолимнионе и составило 5,3%.

Показано, что распределение и концентрация сообществ микроорганизмов связаны с биогеохимическими циклами серы и углерода.

## Analysis of the structure of microbial communities in a freshwater meromictic lake of the European subarctic — a modern analogue of the early Proterozoic ocean

Lovdina T.<sup>1,2\*</sup>, Aksenov A.<sup>1,2</sup>, Vorobyova T.<sup>1</sup>, Zabelina S.<sup>1</sup>, Churakov A.<sup>1</sup>, Moreva O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch RAS, Arkhangelsk

<sup>2</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Department of biology, ecology and biotechnology, Arkhangelsk

\* e-mail: tanya.lovdina@yandex.ru

Microbial communities of freshwater meromictic lake Svetloye were investigated at horizons 22.5 (chemocline) and 33 meters (monimolimnion). The highest concentration have Cyanobacteria, Proteobacteria, Bacteroids, Actinobacteria, Desulfobacteria. Chemocline contains less than 0.1% of archaea, monimolimnion contains 3.7%. The distribution of microbial communities are related to biogeochemical cycles of sulfur and carbon.

## **Анализ экологических последствий аварийного разлива нефтепродуктов в Норильске**

*Киракосян Д. В.\**

Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д. И. Менделеева, кафедра ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития», Москва  
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва  
\* e-mail: kirakosyan.diana2015@yandex.ru

Данная работа посвящена анализу масштабов и последствий аварии, происшедшей в Норильске 29 мая 2020 г. с помощью литературных источников и результатов анализа проб донных отложений.

Уровень накопления органических соединений в отложениях регулирует циклы биогенных элементов и газовый режим на границе «вода-дно». Органическое вещество играет значимую роль в аккумуляции в осадках тяжелых металлов, углеводородов и других токсичных соединений. Наиболее репрезентативным показателем органического вещества является органический углерод.

Проблема идентификации природы загрязнений (источника поступления ПАУ и, следовательно, содержащих их нефтей и нефтепродуктов) осложняется тем, что это распространенные вещества, формирующиеся во многих как природных, так и техногенных процессах.

Для определения органического углерода (Сорг) в донных осадках был использован метод сухого сжигания на анализаторе АН-7560. Содержание и состав ПАУ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе LC-20 Prominence (фирма Shimadzu) с колонкой Envirosep PP.

Материал для данного исследования был отобран сотрудниками Института биофизики и Института водных и экологических проблем СО РАН (ИВЭП) на ручье Надеждинский, реках Дадыкан, Амбарная, Пясино, Дудыпта и Тарей, оз. Пясино и в Карском море. Отбор проб производился при помощи штангового дночерпателя.

Содержание Сорг в донных осадках варьировало от 1,51 до 6,81%. Пространственное распределение Сорг характеризовалось неоднородностью.

Пойменные почвы вблизи аварии места аварии имели преимущественно песчаный и супесчаный гранулометрический состав с высокой долей крупных скелетных частиц и низким содержанием ила и органического вещества, в силу чего они неспособны поглощать и удерживать значительные количества нефтепродуктов и других химических веществ. Это и могло повлиять на малые концентрации Сорг около места, где произошла авария.

ПДК для донных отложений отсутствуют, поэтому используется ПДК для почв, так как донные отложения близки по вещественному составу к почвам, но они не являются почвой как объектом землепользования. Содержание наиболее канцерогенного из идентифицированных ПАУ бенз(а)пирена было наиболее высоким на участке, который находился ближе всего к месту аварии, в среднем 28 нг/г, что превысило величину ПДК в почвах — 20 нг/г (ГН 2.1.7.2041-06), несмотря на использование оградительных бонов. Это может быть связано с растворимостью дизельного топлива в воде и тем, что оградительные боны хуже удерживают менее вязкое, чем нефтепродукты в среднем, дизельное топливо.

Полученные данные показали, что загрязнение в результате аварии оказалось в основном локализовано на участках: руч. Безымянный (от места аварии до устья) — р. Далдыкан (от впадения руч. Безымянный) — р. Амбарная и устье р. Амбарная (до впадения в оз. Пясино).

## **Analysis of the environmental consequences of an accidental oil spill in Norilsk**

*Kirakosyan D.\**

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, UNESCO Chair «Green Chemistry for Sustainable Development», Moscow  
Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow  
\* e-mail: kirakosyan.diana2015@yandex.ru

This work is devoted to the analysis of the scale and consequences of the accident that occurred in Norilsk on May 29, 2020 using the literature and the results of the analysis of bottom sediment samples.



## **Инфузория *Ophryodendron abietinum*: положение в системе подкласса Suctoria и первые молекулярно-филогенетические данные о её бактериальных симбионтах**

Бородин Н. А.<sup>1\*</sup>, Белоконов М. Е.<sup>1</sup>, Хабибулина В. Р.<sup>2</sup>, Мелехин М. С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, биологический факультет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> РЦ «Культивирование микроорганизмов» СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Зоологический Институт РАН, лаборатория клеточной и молекулярной протистологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: nikitik25@gmail.com

Suctoria — уникальная группа инфузорий, характеризующаяся наличием цилиатуры только на расселительной стадии жизненного цикла, называемой бродяжкой. Данный подкласс изучен сравнительно слабо, а посвященные ему филогенетические исследования базируются лишь на данных, полученных для небольшого количества видов. Особый интерес вызывают представители малоисследованного семейства Ophryodendridae — эпибионты различных морских обитателей, ранее неизученные с использованием современных методов. Поэтому в качестве объекта нашего исследования был выбран представитель *Ophryodendron abietinum*, обитающий на гидроидных полипах. Впервые *O. abietinum* был описан в 1885 году, после чего изучался подробно только Мартином на светооптическом уровне.

В нашей работе использовался материал, собранный в трёх удаленных точках: Белое море — губа Чупа (окрестности острова Средний) и окрестности ББС МГУ, а также Баренцево море — губа Зеленецкая. Мы провели морфологический анализ клеток, а также получили молекулярные данные, в частности 18S рДНК. Анализ имеющихся последовательностей показал, что образцы *O. abietinum* из разных точек сбора представляют один гаплотип, по-видимому, распространенный в Белом и Баренцевом морях. Согласно ныне принятой системе, предложенной Линном, в рамках подкласса Suctoria выделяют 3 отряда, подтвержденных молекулярно-филогенетическими данными: Exogenida, Endogenida и Evaginogenida. В основе такой системы лежит способ почкования (образования расселительных стадий). *O. abietinum* относят к отряду Exogenida, поскольку он обладает наружным почкованием вермигимидного типа. Однако результаты нашего филогенетического анализа не согласуются с предложенной ранее системой: *O. abietinum* формирует отдельную кладу в пределах подкласса Suctoria, сестринскую к представителям отряда Evaginogenida. Таким образом, принятая ранее система подкласса Suctoria требует пересмотра на основе большего объема молекулярных данных.

В ходе светооптических и ультраструктурных наблюдений в клетках разных стадий жизненного цикла *O. abietinum* были обнаружены двумембранные вакуоли с бактериями. Молекулярно-филогенетический анализ с использованием последовательностей гена 16S рРНК этих бактерий определил их положение в группе ранее некультивируемых и морфологически не изученных гамма-протеобактерий (пор. Pseudomonadales), описанных исключительно из данных, полученных на основе проведенного метабаркодинга образцов воды. Характер взаимоотношений бактерий с *O. abietinum* по-прежнему остаётся под вопросом.

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

## **Ciliate *Ophryodendron abietinum*: the position in the subclass Suctoria system and first molecular data on its possible bacterial symbionts**

Borodin N.<sup>1\*</sup>, Belokon M.<sup>1</sup>, Khabibulina V.<sup>2</sup>, Melekhin M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Department of Zoology of Invertebrates, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University Research Park Centre for Culture Collection of Microorganisms, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Zoological Institute, RAS, Laboratory of Cellular and Molecular Protistology, Saint Petersburg

\* e-mail: nikitik25@gmail.com

In recent years, we have discovered one haplotype of the *Ophryodendron abietinum* (subclass Suctoria) species both in the White and Barents Seas. In this study we discuss the species' position in the Suctoria subclass system based on our phylogenetic research and present new information on the possible symbiotic bacteria identified in vacuoles.

## New data on the gonodust structure in *Hamingia arctica* (Annelida: Bonellinae)

Kuznetsov P.<sup>1,2\*</sup>, Konovalova O.<sup>3</sup>, Stepanova N.<sup>4,5</sup>, Temereva E.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Aix-Marseille University, France

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

<sup>5</sup> The Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow

\* e-mail: cuznecov.petr2017@yandex.ru

Echiura is a group of non-segmented marine worms. Echiurids are found in all oceans and are especially numerous at great depths. The vast majority of echiurid species live in their own burrows and expose only the proboscis on the surface of the substrate. Because of such a hidden lifestyle, whole echiurids rarely fall into the hands of scientists and data on their anatomy and biology are scant. One of the most specific features of bonellid echiurids is the organization of gonoduct, which has special compartment — the androecium, where the dwarf males live. A detailed study of the echiurid gonoduct using the latest methods will shed light on the features of the reproductive biology of these hidden animals. The material for this work was a female of *Hamingia arctica* collected in the Kara Sea during the 58th expedition of "Academician Ioffe". The gonoducts was studied using mCT, transmission electron microscopy (TEM), and light microscopy.

A pair of small gonoducts is located on the ventral side of the anterior part of the body. The gonoduct consists of two chambers: a storage chamber, which is filled with yolk-rich eggs, and the androecium. At the border between androecium and the storage chamber, the ciliary funnel, catching eggs from the coelom, is located. According to TEM data, the wall of storage chamber consists of secretory cells, which cytoplasm contains many canals of rough endoplasmic reticulum. Probably, these cells produce nutrients, which are consumed by oocytes that are kept in the storage chamber. The androecium has thick walls, which contain numerous large glands, and convoluted lumen. Each androecium opens into the environment with a separated gonopore. The gonopore is formed by strongly secretive epithelium, which differs from the epithelium of the androecium lumen and the epidermis of the trunk. In the connective tissue of the gonopore papilla, there are annular muscles and retractor muscles pass through. Numerous large glands probably take part in the formation of dense egg envelope and attach embryos to each other. Thus, the content of the gland cells can increase the chances of survival for a few offspring. The revealed features of the organization of the *H. arctica* gonoduct may reflect the special reproductive adaptations for living in specific arctic conditions. We are very grateful to Dmitry Korost for help with mCT.

*The study is supported by RFBR (20-04-00096) and by the Vernadski Grant of the French Embassy in the Russian Federation.*

## Thyroid morphology in three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) development

Babina P.<sup>1\*</sup>, Kondakova E.<sup>1,3</sup>, Ivanov M.<sup>2</sup>, Ivanova T.<sup>2</sup>, Smirnova K.<sup>2</sup>, Lajus D.<sup>2</sup>, Kozin V.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Saint Petersburg branch of the FSBSI «VNIRO» («GosNIORKH») of L. S. Berg, laboratory of fish genetics, Saint Petersburg

\* e-mail: p.bbn@mail.ru

Thyroid hormones play crucial roles in vertebrate development, which makes the study of thyroid gland formation necessary. The threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* is a model organism of the environmental studies, population genetics, evolutionary and developmental biology. Although the functioning of thyroid gland of *G. aculeatus* is discussed in literature, the data on its development is incomplete. Hatching of *G. aculeatus* occurs at the advanced stages, and we hypothesized, that functional thyroid follicles appear during embryogenesis.

In this study, the thyroid gland of *G. aculeatus* was examined at the three developmental stages: late embryogenesis just before hatching (stages 24–25 after Swarup, 1958), early larvae and late larvae (transition from the mixed to exogenous feeding). The material was obtained near the Educational and Research Station Belomorskaya of Saint Petersburg State University. In 2015 the eggs were collected in the coastal area of Bolshoy Gorely and Keret islands and reared up to early larval stage (n=5). In 2017 the embryos were obtained by artificial fertilization of wild fish. The eggs were incubated at 12–15 °C (n=3). The late larvae were caught in the Koliushkovaya Lagoon in 2017 (n=4).

The material was fixed with Bouin's solution, stored in 70° ethanol and embedded in paraplast. The serial transverse and parasagittal cuts 5–6 µm thick were stained with Carazzi's hematoxylin and eosin (Biovitrum).

We did not find any thyroid follicles at the stage 24–25. The larval thyroid consisted of diffuse follicles located in the branchial region. An average number of follicles was 7.75±1.89 (mean ± SEM) in the early larvae, 13.5±2.65 follicles in the late larvae. The average long diameter of follicles, short diameter of follicles and the height of thyrocytes in the early larvae were 14.29±2.76 µm, 11.19±1.90 µm and 3.44±0.65 µm, while for the late larvae these numbers were 25.37±8.10 µm, 16.02±4.59 µm and 4.23±0.86 µm, respectively. Mann–Whitney U test (P<0.05) showed significant differences between these dimensions at the two stages.

Thus, our results show, that in *G. aculeatus* the functional follicles of the thyroid gland most probably appear during postembryogenesis. The larval thyroid gland organization is common for Teleostei. Our first data allows the cautious assumption, that the linear dimensions of follicles and thyrocytes increase significantly during the larval period.

*The authors thank the Resource Centre for Molecular and Cell Technologies (RC MCT) of SPbU. The study was supported by the Russian Science Foundation grant 19-14-00092.*

## **Регенерация голожаберных моллюсков на примере *Onchidoris muricata* (Doridina)**

*Лисова Е. Д. \*, Ворцепнева Е. В.*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва  
\* e-mail: nikitencocatia@yandex.ru

Голожаберные моллюски группы Doridina лишены раковины, однако в их покровах имеются субэпидермальные известковые спикулы. Спикулы формируются внутриклеточно, в отличие от эктодермальных спикул других моллюсков, что напоминает образование мезодермальных скелетных элементов иглокожих. Однако, особенности формирования спикул доридид до сих пор остаются не известными.

В настоящей работе впервые предпринята попытка изучения механизма закладки спикул в регенерирующих частях тела, а также впервые описана регенерация ринофоров и папилл доридид на примере *Onchidoris muricata* (O.F. Müller, 1776). Сбор материала производился в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. Н. А. Перцова. В эксперименте выделяли несколько групп моллюсков — с удаленной папиллой в околожаберной области, одним ринофором, либо папиллой и ринофором вместе. Восстановление частей тела оценивалось в течение 24 дней методами световой, электронной микроскопии, а также конфокальной лазерной сканирующей микроскопии.

Восстановление папилл и ринофоров начинается с эпителизации раны в первые сутки после ампутации. Причем эпителий раны отличается от нормального эпителия ринофора — имеет уплощенные клетки, лишенных желез и хитиновых веретен. Дальнейшие изменения характерны только для ринофоров, а регенерация папилл и спикул в них не происходит. Последующее восстановление ринофора связано с увеличением его размеров, он вытягивается, приобретает продолговатую коническую форму. На 5 день после ампутации детектируются первые спикулы и первые мышечные пучки. Внутренняя структура спикул при этом рыхлая, не оформленная, в отличие от монолитной или смешанной структуры нормальных спикул ринофора. Следующий этап восстановления связан с появлением характерной для ринофора вторичной структуры в виде складок, а также восстановления реснитчатого покрова. Закладка складок происходит на апикальной стороне ринофора на 7 день после ампутации, причем может быть как симметричной, так и ассиметричной. Реснитчатые клетки покровов ринофора сначала формируют обособленные пучки и сконцентрированы на апикальной стороне ринофора, где так же восстанавливаются хитиновые веретена в эпителии. Лимфатическая полость и оформленный нервный тяж появляются к 13 дню регенерации. До 24 дня ринофор почти полностью приобретает характерную для него морфологию.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ №20-74-10012.*

## **Nudibranchia regeneration case on *Onchidoris muricata* (Doridina)**

*Lisova E. \*, Vortsepneva E.*

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow  
\* e-mail: nikitencocatia@yandex.ru

Nudibranchia is a shell-less group of mollusks. Some of them have the ability to regenerate. However, there is no data on the possibility of Doridina regeneration and spicules in their body. This work is devoted to the study regeneration of *Onchidoris muricata* tubercles, rhinophores and spicule complex in them.

## **Вкусившие крови: влияет ли переход к гематофагии на строение пищеварительной системы и покровов у трематод *Fellodistomum fellis* (Digenea: Fellodistomidae)?**

Урядова А. А. \*, Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю.

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

На разных стадиях жизненного цикла трематоды обитают в разных органах своих хозяев. Адаптации трематод к месту обитания проявляются как в особенностях внешней морфологии, так и в структурно-функциональной организации их органов и тканей, в частности покровов (тегумента) и пищеварительной системы.

В состав трематодофауны рыб Белого моря входят мариты *Fellodistomum fellis*, которые паразитируют в желчном пузыре зубатки *Anarhichas lupus* и питаются её кровью. Другой беломорский представитель семейства Fellodistomidae — *Steringophorus furciger* — использует в качестве окончательных хозяев камбал, паразитирует в их кишечнике, и питается, по-видимому, содержимым кишечника этих рыб.

Для марит *F. fellis* было описано иное строение эпителия пищеварительной системы, нежели для других изученных в этом отношении трематод (сем. Fasciolidae, сем. Zoogonidae, сем. Schistosomatidae и др.). Выстилка кишки марит *F. fellis* состоит из двух компонентов: пищеварительных клеток и соединяющего их синцития. Является ли такое строение пищеварительной системы адаптацией к гематофагии? Может ли принимать участие в питании тегумент или он выполняет только функцию защиты от агрессивной среды хозяина? Чтобы ответить на данные вопросы, мы изучили и сравнили строение покровов и пищеварительной системы двух отличающихся по типу питания видов феллодистомид, *F. fellis* и *S. furciger*. С помощью просвечивающей электронной микроскопии нами обнаружено, что эпителий пищеварительной системы марит *S. furciger* похож на таковой у *F. fellis*, но имеет свои особенности, например, в соединительном синцитии были найдены ядра. Несмотря на то, что марита *F. fellis* живет в более агрессивной среде, тегумент у нее складчатый, с микровыростами, хотя это обычно считается адаптацией к питанию через покровы. У марит *S. furciger* складчатость тегумента выражена значительно меньше, а микровыросты отсутствуют.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-74-10029, ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ и Центра коллективного пользования «Таксон» ЗИН РАН.

## **The ones who have tasted blood: does the transition to hematophagy affect structure of the digestive system and tegument in the trematodes *Fellodistomum fellis* (Digenea: Fellodistomidae)?**

Uryadova A. A. \*, Kremnev G., Krupenko D.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: sashaur@gmail.com

Adults of the digenean *Fellodistomum fellis* parasitize in the gallbladder of the wolffish *Anarhichas lupus* where they feed on blood. They have a unique structure of the digestive system. To understand whether that is an adaptation to hematophagy, we compared *F. fellis* with non-hematophagous close species — *S. furciger*.

## Микроанатомия эндопаразитической копеподы *Nucellicola* sp. (Crustacea: Copepoda)

Еньшина И. К.<sup>1\*</sup>, Шунатова Н. Н.<sup>1</sup>, Крупенко Д. Ю.<sup>1</sup>, Кремнев Г. А.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: ienshina1458@gmail.com

Веслоногие ракообразные или копеподы (Crustacea: Copepoda) включают большое разнообразие паразитических организмов. Среди них семейство Chitonophilidae объединяет, главным образом, мезопаразитов. В него также входит род *Nucellicola*, представители которого являются эндопаразитами и считаются одними из наиболее специализированных паразитических копепод. Взрослые особи *Nucellicola* sp. раздельнополы и обитают в висцеральном мешке моллюска. Основной паразитической стадией является самка. Её тело, в результате перехода к эндопаразитическому образу жизни, претерпело значительные изменения как во внешнем, так и во внутреннем строении. Количество работ, посвящённых представителям рода *Nucellicola*, очень ограничено. Описания взрослых особей проводились только на светооптическом уровне и содержат противоречивую информацию.

Целью нашей работы стало изучение строения половозрелых самок *Nucellicola* sp. Для этого были собраны заражённые брюхоногие моллюски *Vuccinum undatum* (Linnaeus, 1758), обнаруженные в окрестностях УНБ «Беломорская» (Белое море, Керетский архипелаг). Исследования проводились с использованием стандартных гистологических методов, ТЭМ и компьютерной томографии.

В теле самки *Nucellicola* sp. выделяется два отдела: трофический — в виде разветвлённой сети отростков, прорастающих практически во все органы хозяина, и репродуктивный — отдел червеобразной формы, несущий органы половой системы. Трофический отдел включает два функциональных участка: проксимальный и дистальный. Проксимальный участок массивный, от него отходят многочисленные трофические столоны, которые пронизывают всё тело хозяина. Дистальный участок покрывает репродуктивный отдел самки со всех сторон как чулок и продолжается в качестве яйцевой трубки. Яйцевая трубка в свою очередь продолжается до стенки мантийной полости моллюска, где открывается терминальной порой.

Стенка трофического отдела образована одним слоем гиподермальных клеток. Каждая такая клетка имеет выросты, направленные вглубь тела паразита. Пространство внутри тела заполнено клетками, которые мы называем «основными». Основные клетки несут отростки, которые соприкасаются как друг с другом, так и с отростками гиподермальных клеток, формируя трехмерную сеть. Кутикула, покрывающая трофические столоны, сходна по ультраструктуре с кутикулой некоторых мезопаразитических копепод и паразитических ракообразных из других таксонов (например, из группы Rhizocerphala). Кутикула двухслойная, её апикальная поверхность формирует множество микровыростов в сторону тканей хозяина.

Репродуктивный отдел содержит элементы половой системы. Его дистальный конец образует складку — мембранный мешок, охватывающий самца, в этот же мембранный мешок открывается гонопор самки. Гиподермальные клетки внутренней стороны мембранного мешка, по-видимому, являются секреторными. Мы предполагаем, что они выделяют в полость мембранного мешка вещества для питания самца.

## Microanatomy of an endoparasitic copepod *Nucellicola* sp (Crustacea: Copepoda)

Enshina I.<sup>1\*</sup>, Shunatova N.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>, Kremnev G.<sup>1</sup>, Mirolubov A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

\* e-mail: ienshina1458@gmail.com

The female body of *Nucellicola* sp. is divided into two parts. The trophic part consists of a massive proximal area that gives numerous rootlets and an egg tube that bears embryos. The reproductive part is vermiform and lies inside the proximal part of the egg tube. Its distal end forms a fold (membrane sac) enclosing the male.

## Жизненный цикл загадочных беломорских монстров (Copepoda: Monstrilloida)

Юрикова Д. А. \*, Савченко А. С., Прудковский А. А.

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

Monstrilloida Sars, 1901 — это отряд копепод, представители которого на ранних стадиях развития являются эндопаразитами некоторых донных беспозвоночных. Монстриллоиды имеют крайне необычный жизненный цикл, в котором первый науплиус представляет собой инфекционную стадию. Последующие личиночные стадии монстриллоид являются эндопаразитическими, а взрослые особи — свободноживущими планктонными организмами. Самцы и самки монстриллоид не питаются, так как они полностью лишены ротовых конечностей. Взрослые особи передвигаются исключительно с помощью плавательных ног, поскольку их антеннулы неподвижны.

Монстриллоиды широко распространены в мировом океане, встречаются в разных широтах, достигая высокого разнообразия в тропической зоне. На сегодняшний день основная часть работ по монстриллоидным копеподам была выполнена в Северо-Восточной Атлантике, включая воды Европы, и северо-западной части Атлантического океана. Наименее изученными остаются регионы южного полушария, а также арктические районы.

В Белом море встречаются представители небольшого рода *Monstrillopsis*. В 2004 году по взрослым самкам был описан вид *Monstrillopsis ferrarii* Suárez-Morales and Ivanenko 2004. Однако, остальные стадии жизненного цикла до сих пор оставались неизвестными. В ходе весенних планктонных сборов в окрестностях ББС МГУ нами были обнаружены самцы монстриллоид, предположительно относящиеся к *M. ferrarii*. В ходе дночерпательных сборов в сентябре 2016 года в пробах была найдена паразитическая стадия монстриллоиды, выпавшая из хозяина.

Для сопоставления самок, самцов и паразитической стадии, а также для уточнения их принадлежности к одному виду был проведен молекулярно-генетический анализ по маркерам COI, 18S, 28S. Внешняя морфология самцов беломорских монстриллоид была исследована при помощи световой, конфокальной и сканирующей электронной микроскопии. Выпавшая из хозяина монстриллоиды представляет собой копеподитную стадию. Внешнее строение паразитической стадии исследовано по макрофотографиям.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-24-00182.*

## Life cycle of the enigmatic White Sea monsters (Copepoda: Monstrilloida)

Yurikova D. \*, Savchenko A., Prudkovsky A.

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

The complete life cycle of the White Sea monstrilloid copepod *Monstrillopsis ferrarii* Suárez-Morales and Ivanenko 2004 is described for the first time based on the infective naupliar stage, the parasitic copepodid and planktonic males. The conspecificity of the various stages of the life cycle was confirmed using molecular methods.

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ЭКОЛОГИЯ

#### **Проявление каннибализма у беломорской трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) в период нереста**

*Подлевских А. Л.\*, Демчук А. С., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
\* e-mail: ann-vesta201395@yandex.ru

Трехиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus*) на данный момент является самым многочисленным видом рыб Белого моря и, следовательно, оказывает большое воздействие на все компоненты его экосистемы. Предыдущие исследования питания колюшки показали, что для этого вида характерен каннибализм. Целью данного исследования является сравнение некоторых характеристик каннибализма самок и самцов трехиглой колюшки.

Материал для исследования отбирался в июне 2018–2019 гг., в начале, середине и конце нереста вблизи УНБ СПбГУ «Беломорская» в Керетском архипелаге Канда拉克шского залива Белого моря. Объем выборки составил 595 особей, из которых 329 самцов и 266 самок. Рыб фиксировали 4% формалином. Далее из желудков извлекали содержимое и анализировали состояние икры в составе пищевого комка.

Икринки были обнаружены в желудках 236 рыб (40% от общего числа), из которых 139 (59%) самцов и 97 (41%) самок. Среднее количество икринок у самцов и самок составляло  $10,68 \pm 2,18$  (max = 95) и  $15,39 \pm 2,35$  (max = 111) соответственно и достоверно отличалось (ANOVA,  $F_{1,234} = 9,12$ ,  $p = 0,003$ ). Во всех наблюдениях значительную часть составляли поврежденные эмбрионы, стадию развития которых невозможно было определить. Их доля у самок была достоверно ниже, чем у самцов —  $49,3 \pm 3,9\%$  и  $64,2 \pm 2,8\%$  соответственно (ANOVA,  $F_{1,230} = 12,5$ ,  $p = 0,0005$ ).

Также, в желудках некоторых рыб находилась в небольших количествах неоплодотворенная икра. Ее можно было идентифицировать по отсутствию оболочки оплодотворения. Самцы в среднем съедали гораздо больше неоплодотворенной икры, чем самки ( $15,1 \pm 3,27\%$  и  $4,9 \pm 1,75\%$ , соответственно) (ANOVA,  $F_{1,179} = 7,04$ ,  $p = 0,008$ ).

При анализе количества стадий развития неповрежденной оплодотворенной икры в желудках самцов было установлено, что они могли содержать в себе одновременно икринки до 6 разных стадий развития, тогда как в самках могли одновременно находиться икринки до 9 стадий развития.

Таким образом, характер каннибализма у трехиглой колюшки разных полов различается. Доли поврежденной и неоплодотворенной икры в желудках самцов выше, чем у самок, тогда как разнообразие стадий съеденной икры у них больше. Эти различия могут быть объяснены разным нерестовым поведением, большей подвижностью самок и родительской заботой об икре у самцов. При этом и у самок, и у самцов количество разных стадий съеденной икры увеличивается в течение нерестового периода.

*Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-14-00092.*

#### **Characteristics of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) cannibalism during the spawning in the White Sea**

*Podlevskikh A. \*, Demchuk A., Ivanov M., Ivanova T., Lajus D.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
\* e-mail: ann-vesta201395@yandex.ru

Three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) is the most numerous fish in the White Sea. Sticklebacks are known for cannibalism during the spawning season when adults consume eggs of own species. In this study we analyzed variation in cannibalism characteristics between male and female sticklebacks that demonstrate opposite patterns of spawning behavior.



## **Сезонные изменения питания европейского керчака (*Myoxocephalus scorpius*) в Керетском архипелаге Кандалакшского залива Белого моря**

*Мелентьев Д. А. \*, Демчук А. С., Иванова Т. С., Иванов М. В., Зеленская А. Е., Лайус Д. Л.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
\* e-mail: danil.melentev.00@gmail.com

Европейский керчак (*Myoxocephalus scorpius*) — широко распространенный вид как в арктических, так и в бореальных водах северной части Атлантического океана и прилегающих частях Северного Ледовитого океана. В Белом море обитает на глубине до 20–25 метров, изредка до 59 м, и предпочитает каменистые грунты с зарослями бурых водорослей, часто с примесью песка и ила (Андрияшев, 1954). Из-за большой численности и широкого спектра потребляемых объектов является важным звеном в трофической сети прибрежных экосистем. Однако из-за отсутствия хозяйственного значения биология его изучена относительно слабо, особенно в холодные сезоны. Было показано, что спектр потребляемых организмов может значительно меняться в зависимости от их доступности (Ершов, 2010; Bakhvalova et al., 2016). Цель этой работы — изучение питания керчака в разные сезоны для лучшего понимания его трофических связей с другими видами.

Для сбора материала использовались жаберные сети с ячейей 40, 30, 20 и 16 мм, которые устанавливали перпендикулярно берегу. У пойманных рыб определяли пол, измеряли длину тела от переднего конца головы до начала лучей хвостового плавника (SL), общую массу тела (TW) и массу тела без внутренностей (W). После вскрытия фиксировали желудок в 4% формалине. Все пищевые объекты из содержимого желудка взвешивались и измерялись, у хорошо сохранившихся экземпляров измеряли длину. Организмы определялись по возможности до вида. На основе полученных данных были рассчитаны индексы наполнения, спектры питания, а также встречаемость таксонов. Были выявлены сезонные и размерные различия в питании беломорских бычков.

Частота встречаемости кормовых объектов в желудках рыб была различной. В каждой выборке ни один организм не встречался у 100% рыб. Это может говорить о высоком разнообразии диеты, как на разных станциях, так и на протяжении разных сезонов. Спектр питания и частота встречаемости пищевых объектов сильно меняется в зависимости от сезона и места поимки рыб. Спектр питания керчака зависит также от размера рыбы. Летом, при длине тела менее 12 см, керчаки питаются беспозвоночными, а более крупные особи потребляют в основном трехиглую колюшку. Таким образом можно выделить, как минимум, 2 размерные группы, различающиеся по спектру пищевых объектов. Средний индекс наполнения был наибольшим для рыб из летней пробы, что свидетельствует об активном питании в летний период.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФ № 19-14-00092.*

## **Seasonal changes in the diet of the shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) in the area of the Keret archipelago of the Kandalaksha Bay of the White Sea**

*Melentyev D. \*, Demchuk A., Ivanova T., Ivanov M., Zelenskaya A., Laius D.*

Saint Petersburg State University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
\* e-mail: danil.melentev.00@gmail.com

Shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) is a common fish in the White Sea. It is an important link in the trophic network due to the large number and wide range of prey. The purpose of this work is to study the nutrition of the shorthorn sculpin in different seasons.

## Количественное распределение пяти групп макрозообентоса желоба Святой Анны (Карское море)

Лихачева Г. В.<sup>1\*</sup>, Лепихина П. П.<sup>1,2</sup>, Кузнецов П. А.<sup>1</sup>, Белов Д. А.<sup>2</sup>, Коновалова О. П.<sup>3</sup>,

Степанова Н. Б.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Москва

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

<sup>3</sup> Центр Морских Исследований МГУ имени М.В.Ломоносова

<sup>4</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный

\* e-mail: lihagayka@gmail.com

Глубоководные районы Карского моря практически не исследованы из-за суровых ледовых условий. Ранее работы проводились в Баренцевом море в шельфовой зоне около желоба, а также на континентальном склоне, но переходная зона между ними не была изучена. Целью нашего исследования было охарактеризовать бентосные сообщества желоба Святой Анны. Материал собран в ходе 58-ой экспедиции НИС «Академик Иоффе» по программе Плавающий университет ИО РАН и МФТИ в августе 2021 года в северной части Карского и Баренцева морей. Всего было отобрано 36 количественных и 11 качественных проб на 12 станциях в желобе Святой Анны дночерпателем «Океан» с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup>. Далее осуществлялась промывка через сито с ячейей 0,5 мм, фиксация в 4%-ном растворе формалина, определение животных в рамках крупных таксонов, взвешивание по группам, подсчет количества животных в пробе и среднего по трем количественным пробам.

Макробентос сортировался по пяти основным группам: Polychaeta, Mollusca, Crustacea, Echinodermata и остальные (Rest). Представители всех пяти групп найдены на двух станциях. Полихеты и моллюски найдены на всех станциях, ракообразные — на 9 из 12, иглокожие — на 6 из 12. Средняя численность составила 311 экз./м<sup>2</sup> (варьируя от 110 до 820 экз./м<sup>2</sup>). По численности доминировали моллюски (в среднем 173 экз./м<sup>2</sup>) и полихеты (109 экз./м<sup>2</sup>). В сообществах доминировали сессильные или вагильные седиментаторы. Данные согласуются с литературными, имеющимися по юго-западному району исследованной нами акватории.

Средняя суммарная биомасса составила 23 г/м<sup>2</sup> (варьируя от 5,3 до 59 г/м<sup>2</sup>). Наиболее высокие биомассы были обнаружены на станциях 4035 и 4025, что связано с большим количеством моллюсков (270 экз./м<sup>2</sup>) и крупных полихет и ювенильных моллюсков (737 экз./м<sup>2</sup>) соответственно. Таким образом, главный вклад в биомассу вносили моллюски и полихеты. Средняя биомасса моллюсков составила 8,9 г/м<sup>2</sup> (39% от общей биомассы), а полихет — 9,4 г/м<sup>2</sup> (41% от общей биомассы). Отмечена тенденция уменьшения биомассы от шельфовой зоны к континентальному склону, что согласуется с литературными данными.

На основе полученных данных были сделаны следующие выводы:

- Доминирующая группа макрозообентоса на исследуемой акватории в северной части Карского моря в районе желоба Святой Анны — моллюски.

- Основной вклад в биомассу и численность сообществ вносят сессильные или вагильные седиментаторы (моллюски, полихеты).

- Полученные данные согласуются с литературными: в переходной зоне от шельфа к склону биомасса снижается.

Работа выполнена в рамках программы Плавающие университеты при поддержке Министерства науки и высшего образования и ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова».

## The quantitative distribution of the five macrozoobenthic groups of the St. Anna Trough (Kara Sea)

Likhacheva G.<sup>1\*</sup>, Lepikhina P.<sup>1,2</sup>, Kuznetsov P.<sup>1</sup>, Belov D.<sup>2</sup>, Kononova O.<sup>3</sup>, Stepanova N.<sup>2,4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

<sup>4</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

\* e-mail: lihagayka@gmail.com

Macrozoobenthos were collected from the St. Anna Trough and classified for five big groups. Dominant group is Mollusca; main contribution to the biomass and the quantity is made by sedentary animals that feed on sedimentary organics. The biomass decreases in the transition zone from the shelf to the slope.

## Макрозоопланктон желоба Святой Анны (Карское море): видовой состав и распределение в августе 2021 года

Липухин Э. В.<sup>1\*</sup>, Осипова Д. Д.<sup>2</sup>, Юрикова Д. А.<sup>2,3</sup>, Коновалова О. П.<sup>3</sup>, Кособокова К. Н.<sup>4</sup>,  
Осадчиев А. А.<sup>4,5</sup>, Степанова Н. Б.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Российский Научно-Исследовательский Медицинский Университет им. Н. И. Пирогова

<sup>2</sup> Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова

<sup>3</sup> Центр Морских Исследований МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>4</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

<sup>5</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный

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

Север Карского моря, где расположен желоб Святой Анны, является обширным малоизученным регионом с высоким разнообразием биотопов. В нем сталкиваются потоки вод из Баренцева, Карского морей и Северного Ледовитого океана. Целью нашей работы мы поставили оценку проникновения макропланктонных организмов с атлантическими водами в арктические акватории на примере представителей членистоногих, моллюсков, щетинкочелюстных, стрекающих и гребневиков, обитающих в районе желоба Святой Анны.

Работы проводились в комплексном рейсе №58 НИС «Академик Иоффе» в августе 2021 года в северной части Карского и Баренцева морей. В ходе экспедиции было отобрано 64 количественных и 7 качественных проб на 22 станциях в желобе Святой Анны и на одной точке на континентальном склоне.

В обработанных за время экспедиции пробах до вида было определено 16 пелагических животных, еще два — до рода, один — до отряда, и один — до типа. На большинстве станций доминировал шельфовый вид стрелок *Parasagitta elegans*. В пробах, взятых из слоя более теплых атлантических вод, были найдены бокоплавывы *Themisto abyssorum*. В более холодных водах обнаружены моллюски *Clione limacina*, *Limacina helicina* и бокоплавывы *Themisto libellula*.

Количество животных, найденных с помощью камеры Богорова, было пересчитано на количество организмов в единице объема. Используя полученные характеристики обилия определенных нами видов и гидрофизические данные, мы выполнили кластерный анализ на основании индекса сходства Брэя-Кертиса. Мы разделили материал со всех обработанных станций на 4 группы, проанализировали их видовой состав и выявили закономерности распределения макропланктонных видов в соответствии с водными массами, выделенными по гидрологическим профилям.

Работа выполнена в рамках программы Плавающие университеты при поддержке Министерства науки и высшего образования и ООО «Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова».

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ No 19-04-00955.

## The structure and distribution of the macrozooplankton community in the St. Anna Trough in the Kara Sea

Lipukhin E.<sup>1\*</sup>, Osipova D.<sup>2</sup>, Yurikova D.<sup>2,3</sup>, Konovalova O.<sup>3</sup>, Kosobokova K.<sup>4</sup>, Osadchiev A.<sup>4,5</sup>,  
Stepanova N.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>3</sup> Marine Research Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

<sup>5</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

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

St. Anna Trough is a poorly explored region with high ecological diversity. Fluxes from the Barents, Kara Seas, the Arctic Ocean interfere there. Our study's aim was estimating of macrozooplanktonic ingress rate with Atlantic waters into the Arctic region using organisms inhabiting St. Anna Trough (Arthropods, Molluscs, Chaetognatha, Cnidaria, Ctenophora).

## Видовой состав и распределение мезозoopланктона желоба Святой Анны (Карское море)

Осипова Д. Д.<sup>1\*</sup>, Липухин Э. В.<sup>2</sup>, Юрикова Д. А.<sup>1</sup>, Коновалова О. П.<sup>3</sup>, Кособокова К. Н.<sup>4</sup>,

Осадчиев А. А.<sup>4,5</sup>, Степанова Н. Б.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н. И. Пирогова, Москва

<sup>3</sup> Центр Морских Исследований МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>4</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

<sup>5</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный

\* e-mail: daria.osipova@post.bio.msu.ru

Карское море — крупный и биотопически разнообразный регион, представляющий большой интерес для исследователей. Большинство работ по зоопланктону Карского моря посвящены изучению планктонных сообществ эстуариев, центральной части моря и заливов архипелага Новая Земля. Желоб Св. Анны является одним из наиболее глубоководных районов Карского моря (>500 м), расположенных в северо-западной части моря и, одновременно, наименее изученным его районом. Через желоб Св. Анны в Арктический бассейн поступает две ветки Атлантических вод: теплая фрамовская (проходит к северу от Земли Франца-Иосифа) и более холодная и залегающая глубже баренцевоморская (проходит через Баренцево море к северу от архипелага Новая Земля и к югу от Земли Франца-Иосифа). Целью данного исследования было изучение видового состава, структуры и распределения зоопланктона желоба Св. Анны в связи с гидрофизическими условиями в исследованном районе.

Сбор зоопланктона проводили в 58-й экспедиции НИС «Академик Иоффе» в Карское море в рамках программы Плавающий университет ИО РАН и МФТИ с 22 по 28 августа 2021 года. Отбор количественных проб зоопланктона осуществляли сетью Джеди (БСД-37) с площадью входного отверстия 0,1 м<sup>2</sup> и размером ячеек фильтрующего конуса 180 мкм. Горизонты отбора проб определяли в соответствии с данными о вертикальном распределении температуры и солености, полученными с помощью STD-зонда.

В обработанных в ходе экспедиции пробах было определено более 20 видов мезозoopланктона. Наибольшего разнообразия в пробах достигали представители ракообразных из отряда Copepoda, а также представители типа Cnidaria. Кроме взрослых особей, были встречены пелагические личинки 4 типов организмов. Видовой состав зоопланктона в желобе Св. Анны в период наших исследований характеризовался присутствием арктических, общих для Арктики и Северной Атлантики видов зоопланктона, а также видов-экспатриантов из Атлантики, обычных для исследованной акватории.

Мелкие представители Copepoda (*Oithona similis*, *Oncaea borealis*), их ювенильные стадии, а также меропланктон достигали наибольшей численности в верхнем 50-метровом слое, что закономерно для планктонных сообществ в безледный период. Некоторые из обнаруженных видов — выходцы из Северной Атлантики (например, *Calanus finmarchicus*) — были приурочены к слоям атлантических вод. Арктические виды *C. glacialis* и *C. hyperboreus* обычно встречались выше и ниже слоя фрамовской ветви атлантических вод: в горизонте 0–50 м (более молодые стадии) и 400–500 м (взрослые особи). Численность зоопланктона в нижнем слое вод была самой низкой; кроме видов-космополитов эти слои заселяли холодолюбивые виды зоопланктона

*Работа выполнена в рамках программы Плавающие университеты при поддержке Министерства науки и высшего образования и ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова».*

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-04-00955.*

## Species composition and distribution of mesozooplankton of the St. Anna Trough (The Kara Sea)

Osipova D.<sup>1</sup>,\*, Lipukhin E.<sup>2</sup>, Yurikova D.<sup>1</sup>, Konovalova O.<sup>3</sup>, Kosobokova K.<sup>4</sup>, Osadchiev A.<sup>4,5</sup>,

Stepanova N. B.<sup>4,5</sup>

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

<sup>2</sup> Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

<sup>5</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

\* e-mail: daria.osipova@post.bio.msu.ru

Our study was aimed to study the species composition and distribution of zooplankton of the St. Anna Trough. More than 20 species of mesozooplankton were identified with copepods being the most diverse group. The zooplankton distribution was closely related to the water mass distribution in the study region.

## **Классификация явлений в организации макробентоса в сублиторальной зоне губы Чупа Белого моря**

*Тимофеева М. А. \*, Герасимова А. В. Максимович Н. В.*

Санкт-Петербургский Государственный Университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
\* e-mail: ritatim31@gmail.com

Особенности гидрологического режима губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря (трехслойность гидрологической структуры, выраженные сезонные изменения температуры и солености воды) позволяют рассматривать этот водоем как модельный для исследования динамики эстуарных экосистем Бореарктики. В 1987–90 гг. силами студентов и сотрудников кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ осуществлены комплексные исследования распределения бентоса в данной акватории. В 2021 г. предпринято частичное повторение бентосной съемки 1987–1990 гг. в сублиторальной зоне губы. Для повышения надежности сравнительного анализа результатов обоих наблюдений материалы 1987–1990 гг. были подвергнуты тщательной ревизии, а затем вновь обработаны с использованием современного математического аппарата. Итогам проведенного анализа и будет посвящено данное сообщение.

В 1987–90 гг. материал был собран на 9 разрезах, в пределах которых пробы взяты на разных глубинах (станции): максимальный диапазон глубин от 3 до 90 м. Организмы в пробах определены по возможности до вида, оценены их численность и биомасса. Из абиотических показателей на станциях учтены глубина, расстояние от кута губы и характеристики донных отложений. Сравнение станций по абиотическим и биотическим показателям проведено с помощью многомерных методов. Для выявления абиотических характеристик, лучше всего объясняющих гетерогенность распределения макробентоса в анализируемом районе, была применена процедура BEST пакета Primer v. 6.

Всего в составе макробентоса обнаружен 261 таксон, из которых 217 относились к донным беспозвоночным. Наибольшим разнообразием среди макрозообентоса отличались многощетинковые черви, моллюски и мшанки. В результате сравнения станций по нескольким показателям макробентоса (биомасса всего бентоса, биомасса и респираторный (дыхательный) индекс донных беспозвоночных) было выделено от 9 до 14 надвидовых группировок. Наиболее значимыми абиотическими факторами, объясняющими гетерогенность распределения макробентоса, (процедура Best) являлись глубина и характер грунта. В целом, выделенные по биомассе всего бентоса группировки по количественным и качественным характеристикам, местоположению оказались весьма сходны с сообществами, описанными Голиковым А. Н. с соавторами (1985) по материалам съемки 1967–68 гг., и аналогично данным этих исследователей имеют выраженное поясное распределение. Все это дает возможность предположить стабильность организации макробентоса в сублиторальной зоне губы Чупа в 60–80-х годах прошлого века. Летом 2021 г. были дублированы сборы на 3 разрезах в устье анализируемой акватории, что, надеемся, позволит оценить изменения, произошедшие в структуре сублиторальной донной биоты за последние 30 с лишним лет.

*Исследование выполнено на Учебно-научной базе СПбГУ «Беломорская».*

## **Classification of phenomena in the macrobenthos organization in the sublittoral zone of the Chupa inlet (White Sea)**

*Timofeeva M. \*, Gerasimova A., Maximovich N.*

Saint Petersburg University Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
\* e-mail: ritatim31@gmail.com

The work is devoted to the analysis of the peculiarities of the macrobenthos distribution in the sublittoral zone of the Chupa inlet (the White Sea), based on the survey materials of 1987–1990.

## Сила прикрепления биссуса у криптических видов мидий р. *Mytilus* в условиях стресса, обусловленного пониженной соленостью

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

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

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

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

\* e-mail: retard96@yandex.com

Сила прикрепления биссуса к субстрату — это ключевой фактор, во многом определяющий выживание мидий. Ряд исследований показывают, что интенсивность выделения биссуса может влиять на эффективность избегания хищников и на распределение моллюсков на литорали в зависимости от прибойной активности. В Белом море мидии представлены двумя криптическими видами: *Mytilus edulis* и *M. trossulus*. Смешанные поселения этих двух видов, существуют в условиях резких временных и пространственных градиентов солености. Итог конкурентных отношений видов во многом зависит от того, как каждый из них реагирует на стрессы, связанные с колебаниями солености. В представленной работе мы анализировали влияние опреснения на абсолютную силу прикрепления биссуса двух криптических видов мидий.

Материалом исследования послужили животные размером от 18 до 35 мм, отобранные в двух точках Кандалакшского залива: о. Телячий (преимущественно *M. trossulus*) и литораль близ пос. Лувеньга (преимущественно *M. edulis*). Животные были акклимированы к условиям аквариальной (10 °С, 24‰) в течение двух недель. Далее были сформированы три экспериментальные группы, экспонировавшиеся на искусственных субстратах (керамические пластины) при пониженной солености (12‰, 16‰ и 20‰), и одна контрольная (24‰) группа. Время экспозиции составило 3 суток. Сила прикрепления к субстрату (пиковое значение в момент отрыва от субстрата) измерялась при помощи электронного динамометра (МЕГЕОН 53020, Россия). Видовая принадлежность мидий определялась на основе морфологических признаков.

Нами была построена регрессионная модель, описывающая связь между силой прикрепления и соленостью, массой мидии и видом. Дисперсионный анализ показал достоверное влияние тройного взаимодействия факторов (ANOVA,  $p < 0.01$ ). Общая тенденция описывается следующим образом: у *M. edulis* в условиях контроля (24‰) наблюдается статистически значимая положительная связь силы прикрепления с весом моллюска, с понижением солености (при 16‰ и 12‰) частные угловые коэффициенты линий тренда, описывающих зависимость силы прикрепления от массы организма, не демонстрируют статистически значимых отличий от 0. В то же время *M. trossulus*, наоборот, сохраняют характер этой зависимости (чем крупнее мидия, тем сильнее прикрепляется) даже при экстремальном опреснении. Средние значения силы прикрепления для *M. edulis* снижаются с понижением солености, в то время как *M. trossulus* на изменения солености не реагирует. При этом, в целом, сила прикрепления у *M. trossulus* выше, чем у *M. edulis*. Таким образом можно сделать вывод о том, что *M. trossulus*, являющийся, согласно литературе, видом, который лучше переносит пресные условия, сохраняет способность к прикреплению при остром стрессе, обусловленном соленостью, в отличие от *M. edulis*.

Проект выполняется при поддержке гос. задания ЗИН РАН № 1021051402749-2.

## Byssal attachment strength in cryptic species of *Mytilus* spp. under low salinity stress

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

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

<sup>2</sup> Zoological institute RAS, White Sea biological station «Kartesh», Saint Petersburg

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

\* e-mail: retard96@yandex.com

We analyzed byssal attachment strength of two cryptic mussel species (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) depending on salinity (12‰, 16‰, 20‰ and 24‰) and size. *M. trossulus* retains the ability to attach at reduced salinity, in contrast to *M. edulis*. Large animals adhere to the substrate more strongly.

## Дыхание беломорских мидий *Mytilus edulis* на организменном и тканевом уровнях

Герасимова М. А.<sup>1</sup>, Ковалев А. А.<sup>1,2</sup>, Сухотин А. А.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: gerundinell@gmail.com

Скорость метаболизма и масса тела животных связаны между собой аллометрической зависимостью или, так называемым, законом Клайбера: энергетические траты на обмен пропорциональны массе тела в степени  $\frac{3}{4}$ . Причины и механизмы метаболической аллометрии интенсивно изучаются, однако единой непротиворечивой теории до сих пор не существует. Неясно, в какой степени поддерживается и чем определяется аллометрия метаболизма на разных уровнях биологической организации — на уровне целого организма и суборганизменных уровнях. В данном исследовании мы изучали изменение аллометрической зависимости метаболизма с переходом от организменного уровня биологической организации к тканевому. Для этого мы определяли скорость дыхания (показатель скорости аэробного метаболизма) у отдельных особей мидий *Mytilus edulis*, а затем измеряли дыхание их жаберной ткани, в зависимости от размера тела моллюсков. Эксперимент был поставлен летом 2021 года на Беломорской биостанции ЗИН РАН «Картеш». Мидии были собраны с искусственных; размерный диапазон моллюсков в возрасте от 2-х до 6-ти лет составлял от 0,6 до 17,4 г. Животные были акклиматизированы в течение 15 дней к стандартным условиям лаборатории (температура  $10 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , соленость  $24 \pm 1\%$ , постоянное освещение, ежедневная смена воды). Один цикл эксперимента занимал 2 дня. В первый день измеряли скорость дыхания целого организма. На следующий день мидию вскрывали, препарировали часть жаберы, и определяли скорость потребления кислорода этого образца ткани. Измерение скорости дыхания ( $\text{мкгO}_2/\text{ч}$ ) осуществлялось методом герметичных сосудов, концентрацию кислорода в воде ( $\text{мгO}_2/\text{л}$ ) определяли химическим методом Винклера. После экспериментов определяли массу целого организма и пробы жаберной ткани.

Показано достоверное влияние размера мидий на скорость дыхания целого организма (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Крупные животные характеризовались более высокой скоростью дыхания. На тканевом уровне организации достоверной зависимости скорости дыхания от размера мидий выявлено не было. Диапазоны скорости дыхания составляли 31,8–912,8  $\text{мкгO}_2/\text{ч}$  и 2,3–14  $\text{мкгO}_2/\text{ч}$  для организмов и их жаберных тканей соответственно. Таким образом, согласно нашим данным, аллометрия метаболизма, присутствующая на организменном уровне, пропадает на тканевом. Возможно, зависимость скорости метаболизма от размера тела в значительной степени определяется системными процессами, такими как сердцебиение, кровообращение, газообмен, локомоторная активность.

Проект выполняется при поддержке гос. задания ЗИН РАН № 1021051402749-2.

## Respiration of the White Sea *Mytilus edulis* at the organism and tissue levels

Gerasimova M. A.<sup>1</sup>, Kovalev A. A.<sup>1,2</sup>, Sukhotin A. A.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: gerundinell@gmail.com

We studied metabolic allometry in a mollusk *Mytilus edulis* at the organism and tissue levels of organization. Respiration rate of whole mussels and their gills was measured in closed respirometers, oxygen concentration was determined with Winkler method. The obtained data showed a pronounced allometry at an organismal level — bigger mollusks had higher respiration rate, but at the tissue level this pattern was not observed.

## Effect of drilling fluids of different composition on mollusk larvae (*Hiatella* sp.)

Ivankovich Y. V.<sup>1</sup>, Martynova D. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Murmansk State Technical University

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

\* e-mail: yuriivankovich@gmail.com

Oil and gas mining demands using drilling fluid(s), which properties are largely associated with the environment (sea or land). Drilling fluids promotes destruction of rocks, so they have a number of properties, which are harmful to the environment in most cases. Sea biota is one of the most affected element of ecosystems, since drilling fluids are partly soluble or form suspension deteriorating the habitat for many species. The consequences of possible toxic effects of drilling fluids of various compositions have been studied in 2021 in a series of experiments. The test object were the larvae of *Hiatella* sp., a widespread sublittoral bivalve mollusk. Three drilling fluids of different compositions have been tested: (1) standard barite-based drilling fluid (“standard”), (2) experimental Saccharina-based fluid, developed at the Murmansk State Technical University (“Saccharina”), and (3) drilling fluid used currently on the Prirazlomnaya offshore ice-resistant oil-producing stationary platform (based on polyanionic cellulose and xanthan gum, “Prirazlomnaya”). The mollusk larvae were placed individually into the 2-mL cells with a 6.7 mL/L concentration (250- $\mu$ m and 350- $\mu$ m size classes) and 20 mL/L concentration (250- $\mu$ m). The larvae behavior was checked after 3, 6, 12, 24, and 48 hours. Then the animals were transferred to 2-mL of native seawater for another 24 hours, and their behavior was checked again. The 250- $\mu$ m larvae exposed to 6.7% concentration of all three drilling fluids have recovered after transferring them into native seawater. Although, the 350- $\mu$ m larvae have restored their natural behavior only after being exposed to “Prirazlomnaya”. This was the only drilling fluid that caused the death of mollusk larvae after 24 h or exposure (6.7 mL/L). A negative effect of the 20 mL/L concentration was noted for all the studied drilling fluids, with the most pronounced for “Prirazlomnaya”. The effect of the “standard” and the “Saccharina” drilling fluids on altering the larvae behavior was significantly less. However, “standard” drilling fluid forms a thick layer on the bottom of the experimental cell, which may cover small benthic organisms and thus prevents their normal respiration. Therefore, even insignificant concentrations of drilling fluids have a negative effect on aquatic organisms in different ways.

*The study was supported by the State Assignment no. 1021051402749-2.*



## **Влияние угольной пыли на экологию и здоровья человека (на примере города Мурманска)**

*Культенко В. П., Константинов А. Ю.*

Мурманский государственный технический университет, кафедра биологии и водных биоресурсов, Мурманск  
\* e-mail: valentinkultenko@gmail.com, tomcat24545@gmail.com

Проблема антропогенного загрязнения в условия деятельности Мурманского морского торгового порта (угольного терминала) является одной из актуальных, влияющих на здоровье и качества жизни человека, а также на экологию местности. Целью исследования стал анализ влияния угольной пыли на экологию и здоровья человека.

Чтобы выявить взаимосвязь между фактом загрязнения угольной пылью и заболеваемостью горожан проанализированы данные годовых отчетов следующих организаций: АО «Мурманский морской торговый порт» — отчет по перевалке угля за 2018–2020 годы и Министерства здравоохранения Мурманской области — отчет по заболеваемости болезнями легких и онкологическими заболеваниями жителей Мурманска за 2018-2019 годы. Анализ заболеваемости за 2020–2021 годы не производился из-за последствий новой коронавирусной инфекции COVID-19. Кроме того, был проведен экологический мониторинг снежного покрова, поскольку он является индикатором загрязнения атмосферного воздуха. Для забора материала выделено 5 объектов в Ленинском и Первомайском округах Мурманска, а также на противоположном от города берегу Кольского залива (р-н Абрам-Мыс). С исследуемых участков было взято 15 образцов снежного покрова для органолептического и физико-химического анализа.

В результате физико — химического анализа проб снежного покрова установлено, что во всех пробах имеется превышение рН нормы (от 5,8–7,1). Подщелачивание снежного покрова оксидами металлов происходит благодаря автомобильным выхлопам и угольной пыли, накапливающей их. Согласно качественному и количественному анализу обнаружено: в пробах № 2,3 наличие Ni- 3,0 и 5,0 мг/л; № 1,4,5 — Cr- 3,0 мг/л; Cu во всех образцах, наибольшее ее содержание в пробе № 4 — 30 мг/л. Качественный анализ показал наличие ионов железа (II) в образцах № 2,4, а также железа (III) — № 1,3,5. Концентрация железа превышает ПДК. Во всех образцах обнаружены хлорид-ионы и сульфат-ионы. Соли аммония обнаружены в образце № 4.

Масса пыли во всех образцах превышает ПДК. Наибольшее значение обнаружено в образце № 3 и составляет 35,8 мг/л, а наименьшее в образце № 5 — 4,6 мг/л.

Анализируя результаты исследования, можно сделать вывод, что угольная пыль, присутствовавшая во всех образцах исследования, содержит токсичные примеси (ионы тяжелых металлов и кислот), которые ухудшают экологическую обстановку города Мурманска и влияют на здоровье жителей.

## **The impact of coal dust on ecology and human health (on the example of the city of Murmansk)**

*Kultenko V. P., Konstantinov A. Y.*

Murmansk State Technical University, Department of Biology and Aquatic Bioresources, Murmansk  
\* e-mail: valentinkultenko@gmail.com, tomcat24545@gmail.com

The problem of anthropogenic pollution in the conditions of operation of the Murmansk Commercial Sea Port (coal terminal) is one of the most urgent, affecting the health and quality of human life, as well as the ecology in the area. The aim of the study was to analyze the impact of coal dust on the environment and human health.

## Protective function of brown algal phlorotannins: antibiotic activity against the model unicellular organisms

Lemesheva V.<sup>1\*</sup>, Islamova R.<sup>1</sup>, Birkemeyer C.<sup>2</sup>, Stepchenkova E.<sup>3,4</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> University of Leipzig, Faculty of Chemistry and Mineralogy, Leipzig, Germany

<sup>3</sup> Vavilov Institute of General Genetics RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

<sup>4</sup> Saint Petersburg University, Department of Genetics and Biotechnology, Saint Petersburg

\* e-mail: valeriya.lemesheva@gmail.com

Brown algae accumulate significant amounts of unique phenolic compounds, phlorotannins. These metabolites, represented by a complex mixture of phloroglucinol (1,3,5-trihydroxybenzene) oligomers and polymers, have multiple physiological functions in algal thalli. The most extensively studied function of phlorotannins is their contribution to the chemical protection of macroalgae against diverse deleterious microorganisms, biofoulers and grazers. It is known that different brown algal species produce specific phlorotannin molecules, which have unequal biological activity. In the present study, we are considering effects of different phlorotannin extracts on a set of model unicellular microorganisms.

Phlorotannin extracts were isolated from seven brown algal species (*Desmarestia aculeata*, *Pylaiella littoralis*, *Chordaria flagelliformis*, *Chorda filum*, *Fucus vesiculosus*, *Pelvetia canaliculata*, and *F. serratus*). The molecular composition of the extracts was determined using HPLC-MS analysis. Microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* P.A. Dangeard (strain CC-124), *Chlorella vulgaris* Beijer. (strain BIN), *Euglena gracilis* Klebs (strain Z), gram-negative bacteria *Escherichia coli* (strain KA769) and yeast *Saccharomyces cerevisiae* (strain LAN 201-ura3Δ) were chosen as model objects for testing the phlorotannin toxicity.

All studied phlorotannin extracts exhibited higher toxicity to bacterial and yeast cells compared to microalgae. Phlorotannin preparations obtained from *D. aculeata* exhibited the strongest antibiotic effect with minimum inhibitory concentration (MIC) varying from 4–5 µg/ml for yeast and bacteria to 30–60 µg/ml for *E. gracilis* and *Ch. reinhardtii*. Phenolic compounds of *P. littoralis* showed the least antimicrobial activity (MIC ≥ 1000 µg/ml). *Ch. vulgaris* was the most resistant organism, showing the highest MIC values for most of the tested phlorotannin extracts.

We may conclude that microorganism susceptibility to phlorotannins depends on both the molecular composition of the extract and the object cell structure. Thus, the most probable reason for relatively high tolerance of *Ch. vulgaris* is its unusually thick and rigid polysaccharide cell wall. At the same time, not all of the tested extracts were less effective against this object: phlorotannins isolated from *Ch. filum* were more toxic for *E. gracilis*, than for *Chlorella*. Surprisingly, *Euglena*, lacking cell wall and surrounded only by a plasma membrane and proteinaceous pellicle, proved to be more tolerant to phlorotannins than *Ch. reinhardtii*, possessing a typical plant cell wall.

Apparently, the reactions underlying phlorotannins toxicity are much more complex, than was suggested earlier. Examining the phlorotannin effects on the organisms used as model objects in molecular biology and genetics (such as *S. cerevisiae*, *Ch. reinhardtii* etc.) will contribute to elucidating the mechanisms of the biological activity of these metabolites.

*This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-04-00944).*

## Особенности биохимического состава красных водорослей порядков Gigartinales и Ceramiales

Яньшин Н. А.<sup>1\*</sup>, Лемешева В. С.<sup>1,2</sup>, Биркемайер К.<sup>3</sup>, Тараховская Е. Р.<sup>1,4</sup>

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

<sup>2</sup> Университет Ниигата, Ниигата, Япония

<sup>3</sup> Университет Лейпцига, факультет химии и минералогии, Лейпциг, Германия

<sup>4</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: kolya1256@gmail.com

В ходе эволюции представители разных таксономических групп красных водорослей приобрели ряд интересных биохимических особенностей. В частности, широко представленные в альгофлоре северных морей водоросли, относящиеся к пор. Gigartinales и Ceramiales, несмотря на подчас очень сходные экологические предпочтения, существенно различаются по биохимическому составу. Гигартиновые водоросли известны как источники каррагинанов, специфических структурных полисахаридов Rhodophyta, флоридозида и ряда уникальных аминокислот (напр., гигартина). Церамиевые водоросли синтезируют и избирательно накапливают в своих талломах широчайший спектр специфических низкомолекулярных метаболитов: сахароспирт дигенеазид, каиноидные аминокислоты, большое разнообразие микоспорин-подобных аминокислот, галогенорганические соединения. Детальное изучение особенностей состава различных красных водорослей (биохимический «фингерпринтинг») представляет значительный интерес как с точки зрения выявления фундаментальных закономерностей метаболизма этих организмов, так и для повышения эффективности их прикладного использования. Целью данной работы явилось сравнение ряда биохимических параметров 15 видов красных водорослей, относящихся к порядкам Gigartinales и Ceramiales (класс Florideophyceae).

Объектами исследования служили *Ceramium virgatum*, *Ptilota gunneri*, *Phycodrys rubens*, *Polysiphonia stricta*, *Savoiea arctica*, *Vertebrata fucoides*, *Rhomela confervoides*, *Rhomela lycopodioides*, *Odonthalia dentata* (Ceramiales); *Polyides rotunda*, *Coccotylus brodiei*, *Euthora cristata*, *Furcellaria lumbricalis*, *Cystoclonium purpureum*, *Fimbrifolium dichotomum* (Gigartinales). Содержание пигментов было определено спектрофотометрически, общее содержание белка исследовано с помощью метода Лоури-Фолина, общее содержание углеводов — с помощью антронового метода. Метаболитный профайлинг был выполнен с помощью метода газовой хроматографии — масс-спектрометрии.

Достоверные различия между представителями церамиевых и гигартиновых водорослей были получены практически по всем исследованным нами параметрам. По сравнению с гигартиновыми водорослями, представители пор. Ceramiales характеризуются относительно высоким содержанием белка (до 32% сух. массы) и свободных аминокислот (в т.ч., незаменимых) и содержат в два раза больше хлорофилла «а» и фикозеритрина. Также церамиевым водорослям свойственно накопление ряда непротеиногенных аминокислот, органических кислот (цис-аконитовая, трикарбаллиловая и др.) и разнообразных фенольных соединений (производные кумаровой кислоты, фенилацетальдегид). Представители пор. Gigartinales, в целом, отличаются более высоким содержанием углеводов, в т.ч. специфических низкомолекулярных сахаров и сахароспиртов (трегалоза, производные галактозил-глицерина). Также гигартиновые водоросли накапливают стеролы и серосодержащие метаболиты.

Представляет особый интерес обнаружение серии уникальных низкомолекулярных метаболитов у представителей сем. Rhodomelaceae (Ceramiales). В настоящий момент данные соединения не идентифицированы, и их структуру и функциональное значение еще предстоит выяснить в ходе дальнейших исследований.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ № 20-04-00944.

## Specificity of the biochemical composition of red algae of the orders Gigartinales and Ceramiales

Yanshin N.<sup>1\*</sup>, Lemesheva V.<sup>1,2</sup>, Birkemeyer C.<sup>3</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1,4</sup>

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

<sup>2</sup> Niigata University, Niigata, Japan

<sup>3</sup> University of Leipzig, Faculty of Chemistry and Mineralogy, Leipzig, Germany

<sup>4</sup> Vavilov Institute of General Genetics RAS, Saint Petersburg Branch, Saint Petersburg

\* e-mail: kolya1256@gmail.com

Though inhabiting similar environment, representatives of the orders Gigartinales and Ceramiales (Rhodophyta) have numerous biochemical peculiarities. Ceramialean algae contain high amounts of protein, free amino acids, phenolic compounds, and pigments. Gigartinean species accumulate specific carbohydrates (floridoside, trehalose etc.), sterols, and sulfur-containing metabolites.

## **Приложение концепции о мозаичности к структуре литоральных сообществ Дальнезеленецкой губы Баренцева моря**

*Филимонов И. И.<sup>1\*</sup>, Ефименко Е. М.<sup>1</sup>, Дюмина А. В.<sup>2</sup>, Булавинова В. И.<sup>3</sup>, Унтилова А. А.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Частное общеобразовательное учреждение общего и дополнительного образования «Лаборатория непрерывного математического образования», площадка БиоТоп, Санкт-Петербург

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

<sup>3</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

\* e-mail: vanya\_fil@list.ru

Баренцево море — окраинное море Северного Ледовитого океана. В настоящее время исследования ведутся, в основном, в сублиторали, а литораль изучают прицельно, исследуют экологию конкретных видов, а не сообщества. Береговая линия изрезана многочисленными заливами и бухтами. Губа Дальнезеленецкая расположена на Кольском полуострове восточнее Мурманска. Литораль губы представляет собой мелкий песок и изредка встречаемые валуны. Для таких приливно-отливных зон на Кольском полуострове характерно высокое обилие бурых водорослей, наличие которых является одним из факторов, определяющих гетерогенность биогеоценоза. Пучки фукусов являются элементами биотопа, позволяющими подразделять биогеоценоз на так называемые пэтчи — субэкосистемы. Концепция пэтчей — это подход к анализу экосистемы, подчеркивающий неоднородность внутри системы. Таким образом, биогеоценоз — мозаика пэтчей.

Целью нашей работы является анализ характера мозаичной структуры литоральных сообществ Дальнезеленецкой губы Баренцева моря путем характеристики видовой структуры, сравнения количественного и видового распределения, выявления достоверности различий пэтчей и их окружений.

В ходе работы было взято 3 серии из 14 проб, отобранных с разных горизонтов, с выделением пэтчей и их окружения. Мы считали пэтчем пучок фукуса и выделяли два вида пэтчей — верхний и нижний слой фукоидов. Пучок фукусов, у которого соприкасаются с грунтом только ризоиды — верхний слой. Если большая часть таллома напрямую соприкасается с грунтом — нижний слой. Окружением пэтчей мы считали грунт, находящийся под пучком фукуса и рядом с ним. Две пробы брались в точке нуля глубин — талломы водорослей и грунт. Выше на литорали пробы брались с нижнего, среднего и верхнего горизонтов. В каждой точке было взято по четыре пробы (2 пэтча и 2 пробы окружения). Выполнена полная количественная разборка проб, после которой происходило определение и взвешивание всех извлеченных из проб животных, измерение моллюсков для дальнейшей статистической обработки данных в среде R.

Выявлено, что внутри пэтча доминантный вид, как по количеству, так и по биомассе, различался с доминантным видом окружения. Видовой состав пэтча беднее, чем видовой состав окружения. В пэтчах были найдены малочисленные виды, которые и вносили основной вклад в различия с окружением. Выявлено, что структура сообществ в пределах пучков фукоидов и вне их достоверно различается, отличаются также верхний и нижний слой фукусов. Обнаружено, что наибольшее влияние на структуру сообщества имеет соленость. По сравнению с 2018 годом, в 2019 году произошли значительные изменения видового состава, а в 2020 и 2021 изменения были несущественны.

### **Adapting the conception of patch dynamics to the structure of littoral communities of**

#### **Dalnezelenetskaya Bay of the Barents Sea**

*Filimonov I.<sup>1\*</sup>, Efimenko E.<sup>1</sup>, Diumina A.<sup>2</sup>, Bulavinova V.<sup>3</sup>, Untilova A.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> LCME, BioTop, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Russian State Hydrometeorological University

<sup>4</sup> Saint Petersburg University

\* e-mail: vanya\_fil@list.ru

We have studied the structure of littoral communities within and outside of patches using the environmental monitoring method. The structure of littoral communities within and outside of patches is significantly different; the upper and lower layers of fucus are also different. Small numbered species are the main contributors to the differences. The species composition of the patch is poorer than the species composition of the environment.

## Изучение пищевого поведения хищных брюхоногих моллюсков *Nucella lapillus* в Ярнышной губе Баренцева моря

Арзуманян С. А.<sup>1</sup>, Ефименко Е. М.<sup>1\*</sup>, Дюмина А. В.<sup>2</sup>, Унтилова А. А.<sup>3</sup>, Булавинова В. И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Частное общеобразовательное учреждение общего и дополнительного образования «Лаборатория непрерывного математического образования», площадка БиоТоп, Санкт-Петербург

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

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

<sup>4</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет

\* e-mail: 6888008@bk.ru

*Nucella lapillus* — хищный брюхоногий моллюск из семейства Muricidae. Это атлантический, широко распространенный вид, являющийся важным литоральным хищником. Исследования пищевого поведения нуцелл проводились на литоралиях Атлантического океана, около Англии, и Тихого океана, около США, но исследований пищевого поведения *N. lapillus* в Баренцевом море, конкретнее, в Ярнышной губе, не проводилось.

Целью нашей работы является выявление видов, предпочтительных для питания *N. lapillus* в Ярнышной губе Баренцева моря.

В ходе исследования был проведен эксперимент, который представлял собой постановку 12 пластиковых контейнеров на литораль для постоянного доступа свежей воды. Имелось 3 типа контейнеров, отличающихся обилием пищевых объектов («малое количество пищи», «нормальное количество пищи» и «большое количество пищи»). В контейнеры помещались предположительные пищевые объекты нуцелл: *Balanus* spp., *Mytilus edulis*, *Littorina saxatilis*, *Testudinallia testudinalis*, *Littorina obtusata*, *Littorina littorea* — и сами хищники в количестве 4 штук на контейнер, не зависимо от его типа. Экспозиция длилась 10 дней. После снятия эксперимента все объекты осматривались на наличие характерных круглых отверстий, оставляемых нуцеллами на раковинах моллюсков при нападении. Затем проводился статистический анализ полученных данных.

В результате исследования выявлено, что видовой состав и обилие пищевых объектов достоверно влияют на выбор жертвы. В Ярнышной губе Баренцева моря наиболее предпочтительными пищевыми объектами для *N. lapillus* являются *M. edulis* и *Balanus* spp. *Nucella lapillus* атакуют *L. saxatilis* и *L. obtusata* при нормальном и большом обилии пищи. Наличие каннибализма не зависит от обилия пищи. *N. lapillus* атакуют *T. testudinalis* только при большом обилии пищи.

## The study of feeding behaviour of predatory gastropod *Nucella lapillus* of Yarnyshnaya Bay of the Barents Sea

Arzumanyan S.<sup>1</sup>, Efimenko E.<sup>1\*</sup>, Diumina A.<sup>2</sup>, Bulavinova V.<sup>4</sup>, Untilova A.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> LCME, BioTop, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Saint Petersburg University

<sup>4</sup> Russian State Hydrometeorological University

\* e-mail: 6888008@bk.ru

We have studied that the species variety and the number of the food has a big impact on the choice of the prey. In Yarnyshnaya bay of the Barents Sea *Nucella lapillus* mainly preys on *Mytilus edulis* and *Balanus* spp. *Nucella lapillus* attacks *Littorina saxatilis* and *L. obtusata* at normal and big abundance of food. The existence of cannibalism does not depend on the abundance of food. *Nucella lapillus* attacks *Testudinallia testudinalis* only at big abundance of food.

## Опыт применения кальцеина для создания прижизненных меток у морских и пресноводных моллюсков

Гаврилова Е. О.<sup>1,2\*</sup>, Аристов Д. А.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени Кирова

<sup>2</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии)

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

\* e-mail: lizazavr2018@gmail.com

Флуоресцентный краситель кальцеин применяется в биологических исследованиях для создания прижизненных меток у организмов, которые обладают наружным известковым скелетом. Для беспозвоночных обитателей высокоширотных акваторий такие исследования ранее не проводились. Из-за того, что для этих животных характерен более медленный обмен веществ, возможно, кальцеин будет по-другому взаимодействовать с растущими панцирями таких организмов. Поэтому целью данной работы было проверить этот способ мечения для морских и пресноводных беспозвоночных, живущих в водах умеренных широт, сравнительно с данными об успешном создании меток у обитателей тропических морей. В качестве объектов были выбраны массовые организмы литорали Белого моря: двустворчатые моллюски *Limecola balthica* и *Mytilus edulis* и обитающие во многих пресноводных водоемах Санкт-Петербурга и Ленинградской области шаровки *Sphaerium* sp. Материал собирался в 2019–2021 гг. В июле 2019 г. на литорали Белого моря были собраны 30 двустворчатых моллюсков *L. balthica*. Собранные животные в течение 48 часов находились в отсадниках, заполненных водным раствором кальцеина и морской водой, после чего были на месяц помещены в садки на литорали, при температуре воды 12–16 °С. Далее они были зафиксированы в этиловом спирте. Метки были обнаружены с помощью флуоресцентного микроскопа лишь на одной раковине *L. balthica*. В сентябре 2020 г. в водоемах Шуваловского парка (Санкт-Петербург) были собраны и помещены на 72 часа в водный раствор кальцеина моллюски *Sphaerium* sp. Затем они на один месяц были перемещены в чистую пресную воду температурой 22 °С. На 7 раковинах шаровок (из 8 исследованных) метка в виде желтой полосы по растущему краю раковины была хорошо различима при естественном освещении. При светодиодном освещении (488 нм) эта полоса приобретала насыщенный зеленый цвет. В августе 2021 года на литорали Белого моря были собраны 5 особей *L. balthica* и 6 особей *M. edulis*. Они были помещены в раствор кальцеина на 72 часа, а затем — в чистую морскую воду температурой 22 °С. После двух месяцев экспозиции метка была четко видна у всех собранных особей *L. balthica* и на 4 раковинах *M. edulis*. Таким образом, было выявлено, что методика мечения кальцеином растущей части наружного известкового скелета может быть успешно применима для изучения беспозвоночных умеренных широт, однако, для более контрастной визуализации меток удобнее пользоваться светодиодным освещением.

## Using calcein for making marks in shells of alive sea and freshwater bivalves

Gavrilova E.<sup>1,2\*</sup>, Aristov D.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup> Laboratory of Marine Benthic Ecology, Saint Petersburg

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

\* e-mail: lizazavr2018@gmail.com

Fluorescent dye calcein has been used in numerous studies of water animals to mark their calcified skeletons. We verified this method of making calcein marks in shells of molluscs of high latitude waters as *Limecola balthica*, *Mytilus edulis*, *Sphaerium* sp. Calcein can be used for making marks in their shells.

**Океанологические и ихтиологические наблюдения в Кандалакшском заливе Белого моря зимой 2021 г.**

*Маховиков А. Д.<sup>1\*</sup>, Смагин Р. Е.<sup>1</sup>, Иванов М. В.<sup>2</sup>, Иванова Т. С.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург  
\* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

Гидрологический режим Кандалакшского залива Белого моря во многом определяется его географическим положением — большая часть его акваторий расположена в субполярном климатическом поясе. Сюда проникают соленые воды Баренцева моря, в холодный период года поверхность покрыта льдом, здесь хорошо выражены приливные явления. В ряде мест, из-за пресноводного стока формируется двуслойная структура (распресненный и соленый слой). Такими районами являются устьевая область реки Кереть и прилегающие акватории с проливами.

Летний водный режим хорошо изучен, благодаря исследованиям кафедры океанологии СПбГУ, выполняемых в ходе полевых практик студентов. Однако, океанологическая информация по другим сезонам была скудная. В марте 2020 г. были выполнены первые зимние измерения в устье реки Кереть, а год спустя удалось получить данные, описывающие особенности зимнего гидрологического режима и по другим акваториям (Большой Керетский Рейд, губа Чупа, пролив Глубокая Салма). Были получены вертикальные профили основных океанологических величин и сведения о ледовой обстановке. Кроме того, проводился подледный лов рыбы на разных глубинах жаберными сетями с ячеей разного размера.

В губе Кереть в зимний период наблюдается следующая структура вод. Верхний распресненный слой и нижний соленый, при этом более высокие температуры наблюдались у устья реки Кереть и на всей поверхности губы Кереть.

Несколько иная ситуация наблюдается в проливе Сухая Салма и в мелководной лагуне Колюшковой. Пролив Сухая Салма имеет более широкие диапазоны изменения солености и более теплую воду по сравнению с лагуной. Зимой в лагуне была обнаружена трехглая колюшка, которая массово нерестится в этой акватории летом.

Вблизи губы Летняя было обнаружено, что температура с глубиной растет, а затем снова снижается. Этот феномен можно объяснить тем, что лед препятствует активному ветровому перемешиванию разнородных вод, позволяя речным водам относительно беспрепятственно продвигаться подо льдом в сторону открытого моря. На глубинах 40–80 м в провешенные сети в больших количествах попадала мойва.

Толщина льда в марте достигает 55 см, а самый тонкий лед отмечается в районе с активной динамикой вод.

Распределение рыб в изученном районе в целом соответствовало зимнему вертикальному распределению температуры воды. Основные скопления были обнаружены на глубинах свыше 40 м, где температура воды превышала +1,0 °С. На глубинах выше 40 м и ниже 80 м, где температура опускалась ниже 0 °С рыба не встречалась, за исключением единичных поимок керчаков на глубинах 10–20 м. В губе Чупа на дне на глубинах 40–60 м были обнаружены скопления зимующей беломорской сельди, часто попадались колючие скаты, керчаки, мойва.

*Работа частично поддержана грантом Российского научного фонда (грант № 19-14-00092). Также авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность работы в данном районе Кандалакшского залива Белого моря в зимний период.*

**Oceanological and ichthyological observations in the Kandalaksha Bay of the White Sea in winter 2021**

*Makhovikov A. D.<sup>1\*</sup>, Smagin R. E.<sup>1</sup>, Ivanov M. V.<sup>2</sup>, Ivanova T. S.<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg University, Department of Ichthyology and Hydrobiology, Saint Petersburg  
\* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

For the Keret Bay and adjacent waters of the Kandalaksha Bay (White Sea), for the first time generalized data on the vertical distribution of water temperature and salinity, ice regime, and features of the behavior of fish communities at the end of the winter were obtained.

## **Пространственная изменчивость баренцевоморской водной массы по данным натурных наблюдений в желобе Святой Анны за август 2021 года**

*Нурлибаева А. С.<sup>1\*</sup>, Джамалова А. Г.<sup>1</sup>, Витинг К. Б.<sup>2</sup>, Осадчиев А. А.<sup>3</sup>, Фрей Д. И.<sup>3</sup>, Степанова Н. Б.<sup>2,3</sup>*

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

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт, Москва

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

\* e-mail: nurlibaeva.lina@yandex.ru

Небольшой по площади, расположенный на стыке Баренцева и Карского морей, желоб Святой Анны является районом трансформации атлантических вод: здесь встречаются фрамовская и баренцевоморская ветви Северо-Атлантического течения, откуда далее, через бассейн Нансена, продолжают циркулировать по всему Северному Ледовитому океану. Особый интерес представляет баренцевоморский поток, несущий баренцевоморскую водную массу (БВМ), ведь в условиях отсутствия постоянной кромки льда или неравномерного его распределения в Баренцевом море баренцевоморская ветвь существенно охлаждается в отличие от изолированного подо льдом теплого фрамовского потока (ФВМ). Обе водные массы составляют гидрологическую структуру желоба Святой Анны. В августе 2021 года была выполнена подробная (55 станций) гидрологическая съемка желоба, а также прилегающих акваторий (район континентального склона (до 83° С.Ш.) и два южных района. В результате которой построены и проанализированы разрезы по температуре, солёности и плотности, а также составлены TS-диаграммы для выявления изменений гидрологических параметров БВМ.

Мощный слой холодных ( $\theta < 0$  °C) и более плотных ( $\sigma\theta \geq 27,95$  кг/м<sup>3</sup>) глубинных вод, обнаруженный на двух южных разрезах, идентифицируется как БВМ, вытянутая форма которой объясняется отклонением от геострофического баланса и увеличением эффекта силы Кориолиса вследствие высоких скоростей (Журбас Н. В, 2019). В это же время под верхним квазиоднородным слоем наблюдаются остаточные теплые воды фрамовского потока, отклонившиеся в желобе Святой Анны от основной ветви и продолжающие адвекцию тепла в Баренцево море.

При изучении TS-диаграмм выяснилось, что на входе в желоб верхняя часть баренцевоморского потока потеплела. Остаточные теплые фрамовские воды повысили температуру на глубине 100 м с -0,39 °C до -0,26 °C. В самом желобе температура верхней части БВМ достигла +0,32 °C, однако ядра БВМ изменения в температуре не затронули. Гидрологические параметры баренцевоморского потока ( $\theta = -1,29$  °C,  $S = 34,85\%$ ,  $\sigma\theta = 28,05$  кг/м<sup>3</sup>) на глубинах ниже 509 м постоянны, вследствие этого авторы приходят к выводу, что в желобе Святой Анны ФВМ практически не взаимодействует с БВМ. Стоит отметить, что по разрезам солёности в желобе четко выделить две атлантические водные массы и их ядра сложно, в отличие от температуры.

Следуя вдоль восточного склона к свалу глубин за континентальным склоном, БВМ интенсивно перемешивается с теплыми водами и уходит на глубину 800 м.

*Работа выполнена в рамках программы Плавающие университеты при поддержке Министерства науки и высшего образования.*

## **Spatial variability of the Barents Sea branch water based on in situ observations in the St. Anna Trough in August 2021**

*Nurlibaeva A. S.<sup>1\*</sup>, Dzhamalova A. G.<sup>1</sup>, Veting K. B.<sup>2</sup>, Osadchiev A. A.<sup>3</sup>, Frey D. I.<sup>3</sup>, Stepanova N. B.<sup>2,3</sup>*

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

<sup>2</sup> Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow

<sup>3</sup> Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow

\* e-mail: nurlibaeva.lina@yandex.ru

According to the data obtained, the hydrological structure of the waters of the St. Anna Trough has been studied, hydrological parameters of the Barents Sea flow in the trench were identified from the constructed sections and TS-diagrams. The Barents Sea branch is getting warmer at the entrance to the trough, which is facilitated by the residual waters of the Fram branch, and pressed to the east by the Coriolis force. In the trough itself, the Barents Sea branch practically does not interact with the Fram branch, on the continental slope the Barents Sea branch goes to a depth of 800 m.



## **Батиметрическая съемка морской акватории и озер Керетского архипелага**

*Каледина А. С. \*, Травкин В. С., Кузьмина С. К., Смагин Р. Е., Петросян Н. В.*

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

\* e-mail: kaledina2010@gmail.com

В ходе практики на УНБ СПбГУ «Беломорская» летом 2021 г. студентами кафедры океанологии были выполнены промеры глубин в проливах Средняя Салма и Сухая Салма, а также на озерах о. Средний. Батиметрическая съемка осуществлялась галсами, с помощью устройств GPS и эхолота. В Средней Салме было выполнено 168 промеров глубины, а в Сухой Салме — 97. Полученные глубины приведены к условному нулю глубин.

Промеры осуществлялись с весельной лодки при помощи эхолота Rivotek, координаты точек промеров закреплялись устройством GPS GARMIN. Данные с прибора заносились в полевой журнал. Промерные галсы в проливах выполнялись от одного берега пролива к противоположному, а точки ставились через одинаковые интервалы. Во время работы учитывались изменения уровня моря — фиксировался отсчет по рейке в момент ухода и прихода с промеров. Затем полученные значения промеров приводились к среднему уровню. После первичной обработки данных в MS Excel была построена батиметрическая карта исследованного района в программе Surfer. Полученная карта отображает неоднородную и весьма сложную структуру донного рельефа.

Максимальные глубины (36,3 м) в проливе Средняя Салма зафиксированы примерно на N 66.291, E 33.634. От этого района глубины плавно понижаются на восток и более резко на запад. Северная часть дна в расширенном участке Средней Салмы более пологая, чем южная.

По результатам промеров глубин в Сухой Салме можно сказать, что область с максимальными значениями глубины (9,3 м) расположена в западной части пролива, примерно на N 66.311, E 33.649. Далее на восток глубины плавно понижаются. Северный берег более пологий, чем южный. Вдоль N 66.312 параллели было обнаружено несколько отмелей, находящихся ориентировочно на E 33.652, E 33.656 и E 33.660.

В августе 2021 г. аналогичным способом были выполнены промеры глубин, а также отснята береговая линия на Большом и Малом озерах о. Средний. Рельеф дна оз. Большое представлен мелководной западной и восточной частями, глубины которых не превышают 2,5 и 4 м, соответственно. Центральная часть оз. Большое характеризуется резким увеличением глубин до значений более 7,5 м.

Составленные обновленные батиметрические карты весьма полезны для планирования и проведения океанологических работ в данном районе Белого моря.

## **Bathymetric survey of the sea area and lakes of the Keret Archipelago**

*Kaledina A. \*, Travkin V., Kuzmina S., Smagin R., Petrosyan N. \**

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: kaledina2010@gmail.com

We performed summer measurements of topography of the Srednyaya and Sukhaya Salma Straits and two lakes of the Sredniy Island. The maximum depths (36.3 m and 9.3 m) are located in the central and western parts of the straits, respectively, and in the central parts of the lakes.

## Особенности водообмена в лагуне Колюшковая и проливе Сухая Салма

Кузьмина С. К. \*, Виноградов М. В., Иванов К. Д., Смагин Р. Е.

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

\* e-mail: so.k.kuzmina@gmail.com

Пролив Сухая Салма расположен к северу от о. Средний, между о. Большой Горелый и Кереть. Для пролива характерен выраженный ход приливных колебаний уровня моря (амплитуда колебаний уровня до 180 см при сизигии) и изменчивость солености в поверхностном слое, зависящая от периодического поступления морских вод из открытой части Белого моря, а также распресненной воды из устьевой области реки Кереть. Лагуна Колюшковая отделена от пролива невысокой каменной грядой, которая препятствует свободному водообмену. Это влияет, в том числе, на популяцию трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*), которая в летнее время активно посещает лагуну.

20.06 и 27–28.06.2021 г. в лагуне Колюшковая и проливе Сухая Салма проводились полусуточная и суточная океанологические станции для исследования особенностей водообмена между акваториями при различных приливных условиях. Измерения продолжают цикл работ предыдущих сезонов, и в 2021 г. они производились во время квадратурного и сизигийного прилива. В ходе работ наблюдался уровень моря, измерялись температура и соленость (вертикальное профилирование), осуществлялся отбор проб с поверхности воды на соленость и концентрацию желтого вещества.

Анализ результатов показал, что во время квадратуры, когда амплитуда приливных колебаний уровня меньше, уровень в лагуне Колюшковая практически не меняется, схожих физико-химических характеристик вод в лагуне и проливе не было отмечено. Это указывает на то, что при квадратуре заток вод из Сухой Салмы в лагуну не происходит.

Однако во время сизигии амплитуда приливных колебаний уровня выше, что проявляется в увеличении высот полных вод. Поэтому воды из Сухой Салмы могут пройти через барьер между проливом и лагуной. 27–28.06.2021 г. в лагуне наблюдалось изменение уровня воды, но только в период высокой полной воды (ВПВ). Амплитуда колебаний уровня в лагуне составила 23 см. Изменение уровня моря в лагуне не было замечено в другие сроки (низкая полная вода и две малые воды).

Заток вод из Сухой Салмы в лагуну в срок ВПВ (18.00–20.00 27.06.2021 г.) подтвержден схожестью характеристик температуры (12,5–13,0 °С и 14,0–14,5 °С соответственно) и солености (17,0–17,5 PSU) в поверхностном слое обеих акваторий. Это подтверждают как вертикальные профили зондирования, так и пробы солености на поверхности. Таким образом, в летний сезон водообмен между лагуной Колюшковая и проливом Сухая Салма происходит только при сизигийных условиях и в основном во время высокой полной воды (ВПВ).

## Water exchange between Sukhaya Salma Strait and Kolyushkovaya lagoon

Kuzmina S. \*, Vinogradov M., Ivanov K., Smagin R. \*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: so.k.kuzmina@gmail.com

During spring tides there is an inflow of water from Sukhaya Salma to Kolyushkovaya lagoon, which can be indicated by sea level fluctuations in the lagoon that correspond with marine tidal fluctuations, as well as similar thermohaline and hydrochemical characteristics of surface waters in the two bodies of water.

## **Пространственное распределение физико-биологических характеристик устья реки Кереть**

*Мальшиева А. С. \*, Каледина А. С., Ретинская Н. Г., Смагин Р. Е.*

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

\* e-mail: aleksa.malysheva@yandex.ru

В ходе учебной практики студентов 3 курса кафедры Океанологии на УНБ «Беломорская» в июне 2021 года, с целью изучения пространственного распределения физико-биологических характеристик, был выполнен разрез от устья р. Кереть до пролива Сухая Салма. Измерения производились 2 июля 2021 г. по 8 точкам: были получены данные по температуре воды, солёности и концентрации хлорофилла «а» с помощью зонда «OCEAN SEVEN 316Plus CTD»; прозрачности воды (диск Секки); глубины измерялись эхолотом. Также, производился отбор проб воды на определение солёности, концентрации кремния и показателя поглощения желтого вещества (ЖВ). Выбранные точки разреза захватывают область распространения пресных вод с р. Кереть и две котловины с остаточными холодными зимними водами.

Температура воды на поверхности варьирует в пределах от 18,9 °С до 15,5 °С, солёность — от 0,3‰ до 18,5‰. На глубинах 20 м (две самые глубокие станции — до и после Керетского рейда) в котловинах зафиксированы холодные и солёные зимние воды с температурами 3,5 °С и 3,9 °С и солёностью 25,8‰ и 26,1‰ соответственно. Изменение в рельефе (банка), препятствует перемешиванию придонных вод: с одной стороны — распреснение от реки, с другой — водообмен с морем.

Весьма интересно распределение концентраций хлорофилла «а»: наибольшие концентрации (до 6 мкг/л) наблюдались в слое 1–5 м вплоть до о. Средний, после чего концентрации снижаются (2,0–2,5 мкг/л) и слой сужается и заглубляется (4–6 м). В мористой части концентрации от 2 до 3 мкг/л.

С удалением от устья реки концентрации кремния и показатель поглощения ЖВ уменьшаются, а солёность увеличивается. Весьма закономерно максимальные концентрация кремния и значения ЖВ наблюдаются в самой ближней к устью точке и составляют 1323,1 мкг/л и 16,7 м<sup>-1</sup> соответственно, при минимальном значении солёности 0,3‰. При удалении от устья, концентрации этих веществ уменьшаются, а солёность растёт (до 18,5‰), что говорит о преобладании морских вод, однако, на последней точке, вблизи Сухой Салмы, при достаточно высоких значениях концентрации кремния и ЖВ (1113,4 мкг/л и 14,5 м<sup>-1</sup>) была небольшая солёность (5,391‰). Такие показатели свидетельствуют о том, что воды Керети распространяются до выхода из пролива Средняя Салма, а в точках в середине разреза воды были перемешаны в поверхностном слое за счёт ветрового воздействия.

## **Spatial distribution of physical and biological characteristics of the Keret River estuary**

*Malysheva A. \*, Kaledina A., Repinskaya N., Smagin R.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: aleksa.malysheva@yandex.ru

A transect from the mouth of the river Keret to the Sukhaya Salma strait was made by third year students of the Oceanography department in June 2021. Spatial distribution of such characteristics as temperature, salinity and concentrations of chlorophyll-a, dissolved silica, colored dissolved organic matter were measured.

## **О гидрологии эстуарного водоема «Подпахта — бухта Лебяжья»**

*Крыжова К. А. \*, Едигарева М. В., Смагин Р. Е.*

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

\* e-mail: 2002kristin@gmail.com

Работа представляет анализ зависимости основных гидрологических характеристик в бухте Лебяжья от приливных течений. Для Белого моря характерным процессом являются приливные течения, вызванные входящей из Баренцева полусуточной волной. Важно различать колебания уровня моря, возникающие вследствие вертикальных смещений водных частиц на приливных орбитах, и приливные течения, формирующиеся за счет горизонтальных смещений, которые способствуют взаимному перемещению вод между речной вод в мористой частями. Таким образом, приливные течения в устьевых областях влияют на: температуру, соленость, распространение взвеси и окрашенных растворенных органических веществ (например, желтого вещества).

Цель данного исследования — продемонстрировать характер колебаний температуры, солености и уровня воды в разных по удаленности от открытого моря точках в результате трансформации поверхностных вод Керетской и Чупинской губ. Анализируемые параметры — это натурные данные, измеренные в ходе учебной практики с использованием CTD-зонда в 3 точках бухте Лебяжья и проливе Подпахта. Точка 1 (66°17'37" С.Ш., 33°35'13" В.Д.) располагалась в самой бухте. Точка 2 (66°17'37" с.ш., 33°36'18" в.д.) — вблизи входа в бухту Лебяжья. Точка 3 (66°17'37" С.Ш., 33°36'47" В.Д.) самая восточная точка, недалеко от о. Горелый. Анализ включал в себя построение разрезов по температуре и солености с дискретностью около 6 часов. В результате чего, для точек, объединенных пространственной близостью, были продемонстрированы существенные различия в гидрологических режимах: изменение стратификации вод с поступлением более холодных соленых вод в промежуточном слое в прилив, распресняющее воздействие в поверхностном слое во время отлива, а также инверсии температуры и солености в фазу отлива.

## **About hydrology of estuarial water body “Podpakhta —Lebyazhya Bay”**

*Kryzhova K. \*, Edigareva M. V., Smagin R. E.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

\* e-mail: 2002kristin@gmail.com

In this research, we apply data from CTD profiles from three stations, to study the variability of sea water level in the small estuarial part of the White Sea. We demonstrate the great influence of marine blends on a mean salinity level and temperature decreases during high water and the opposite effects whilst the low tide.

## **Желтое вещество в водах устьевой области р. Кереть (по результатам наблюдений 2016–2021 гг.)**

*Саймирзаева Н. А.\*, Устинова Т. С., Морозова С. М., Петросян Н. В., Смагин Р. Е.*

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

\* e-mail: st076925@student.spbu.ru

Желтое вещество является важным звеном морской экосистемы и имеет существенное значение при мониторинге экологического состояния вод, особенно в устьевых областях. Желтое вещество может рассматриваться в качестве надежного трассера для оценки трансформации речных вод в устьевых областях. Желтым веществом называют группу растворенного органического вещества, для которой характерно поглощение, резко возрастающее в сторону коротких волн электромагнитного спектра, что и обуславливает желтоватую окраску вод. Образование желтого вещества связано с разрушением пигментов (хлорофиллов и каратиноидов) в зеленых водорослях. Хлорофилл имеет две сильные полосы поглощения света — синюю и красную. При разложении в первую очередь исчезает хлорофилл-а, с которым связана красная полоса, и остается большое «синее» поглощение, характерное для желтого вещества.

В данной работе приведены результаты измерений распределения желтого вещества в летний период. Район исследования — место впадения реки Кереть в Белое море. Здесь наблюдается четкое разделение водной структуры — пресные и слабосоленые воды, как менее плотные, лежат на морских, т. е. в поверхностном слое преобладают воды с речными характеристиками — как правило, с высоким содержанием растворенного органического вещества и биогенов. По мере удаления от устья воды смешиваются и их свойства становятся все более близкими к морским. Отбор проб проводился в летний период 2016–2019 гг. и 2021 г. Пробы воды были взяты только с поверхности, так как влияние желтого вещества на оптические свойства вод важно именно для поверхностного слоя. Поскольку желтое вещество обладает характерными свойствами поглощения, то для исследований были использованы оптические методы. В настоящее время в океанологии нет прямых методов, позволяющих определить концентрацию растворенного органического вещества в воде, поэтому принято характеризовать его содержание по оптическому проявлению. Проводились спектрофотометрические измерения, в расчетах использовалась одна из наиболее распространенных — 355 нм. Полученные оптические плотности переводились в показатели поглощения при анализе фильтрованной воды. Анализ показал, что максимальное количество желтого вещества ( $26,715 \text{ м}^{-1}$ ) приходится на конец лета, минимум ( $8,982 \text{ м}^{-1}$ ) — на начало; наибольшее количество желтого вещества приходится на устьевую область и убывает по направлению к мористой части, достигая минимальных значений.

*Проект выполняется при поддержке Российско-Германской Лаборатории полярных и морских исследований им. О. Ю. Шмидта.*

## **Colored dissolved organic matter in the waters of the mouth area of the Keret River (according to the results of observations in 2016–2021)**

*Saimirzaeva N. \*, Ustinova T., Morozova S., Petrosyan N., Smagin R.*

Saint Petersburg State University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: st076925@student.spbu.ru

During the summer practices of 2016, 2017, 2018, 2019 and 2021, data were collected to obtain information on the change in the light absorption rate of of Colored dissolved organic matter (CDOM) in the surface layer of the Keret river mouth by sampling water and determining the absorption rate.

## Морфологические и физико-химические свойства эталонного агрозема Ямала

Низамутдинов Т. И.<sup>1\*</sup>, Моргун Е. Н.<sup>2</sup>, Сулейманов А. Р.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Салехард

\* e-mail: timur\_nizam@mail.ru

Арктическое земледелие имеет богатую историю, например, исследования на Ямальской зональной овощной опытной станции ВАСХНИЛ внесли не только вклад в развитие полярного овощеводства, но и дали косвенный результат в виде сконструированных уникальных почв.

Сейчас Ямальская опытная станция входит в состав Тюменского НЦ РАН и до 2019 года здесь выращивали картофель (урожайность до 120 ц/га). Ныне поле представляет собой двухлетнюю залежь.

По результатам наших собственных исследований было выявлено, что многолетнее сельскохозяйственное использование участка привело к формированию уникального почвенного профиля, кардинально отличающегося от фоновых почв региона. За практически вековой период агропромышленных мероприятий был сформирован мощный (до 30 см), агросветлогумусовый (РУ) горизонт, который подстилается мощным (45 см) иллювиально-железистым горизонтом (BFg,ff), переходящим в горизонты BCg,ff и Cg,ff с редоксиморфными пятнами и затеками.

Почва Ямальской опытной станции кислая (рН Н<sub>2</sub>О 4,8–5 в поверхностных горизонтах). Кислотность снижается вниз по профилю до рН Н<sub>2</sub>О 6,6 в горизонте Cg,ff. Содержание органического углерода в гумусово-аккумулятивном горизонте достигает 2%, а его запас равен 6912 г/м<sup>2</sup>. В срединных и глубинных горизонтах содержание углерода резко снижается до 0,02%.

Почва обогащена основными элементами питания, содержание подвижного фосфора в горизонте РУ достигает 450 мг/кг, обменного калия — 60 мг/кг, причем пиковые значения приходятся на нижнюю границу (20–30 см) гумусово-аккумулятивного горизонта, что свидетельствует о наличии элювиальных процессов. Содержание минеральных форм азота на низком уровне: аммонийный азот — 6 мг/кг в верхних горизонтах, 2,6 мг/кг в глубинных; нитратный азот — 21,5 мг/кг в верхних, 0,22 мг/кг в глубинных горизонтах.

Вековая история научно-обоснованной обработки делает почву Ямальской опытной станции поистине уникальной, она заслуживает не только всестороннего изучения, а возможно даже и присвоения статуса охраняемого природного объекта. На всей территории Арктической зоны Российской Федерации таких объектов практически не осталось и чрезвычайно важно не допустить его потери в связи с растущими темпами урбанизации в арктическом поясе.

*Проект выполняется при поддержке НЦМУ «Агротехнологии будущего» №075-15-2020-922.*

## Morphological features and physicochemical properties of the benchmark agrosol of Yamal

Nizamutdinov T. I.<sup>1\*</sup>, Morgun E. N.<sup>2</sup>, Suleymanov A. R.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard

\* e-mail: timur\_nizam@mail.ru

We describe morphological features of unique Arctic agrosol, which have been in active agricultural usage for almost 100 years. In addition, we provide their main chemical and physical-chemical properties, such as organic carbon content, pH and main nutrients concentration.

## **Общая характеристика ксенолитов пироксенитов из даек и трубок взрыва, Кандалакшский грабен, Беломорье**

*Яркова Д. Д. \**

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра петрографии, Санкт-Петербург

\* e-mail: st063689@student.spbu.ru

Объектом исследований являются комплексные ксенолиты Кандалакшского грабена, которые крайне важны для определения происхождения нижнекоровых пород и их протолитов.

Кандалакшский грабен является частью рифейской рифтогенной структуры, активизация которой в палеозое (девон) определила становление нескольких карбонатитовых массивов и дайковых серий. Одна из таких дайковых серий приурочена к зоне разломов, обрамляющих Кандалакшский залив. Простираение даек колеблется от меридионального до северо-восточного, падение крутое, часто вертикальное. Мощность составляет от нескольких сантиметров до 1,5–2,4 м; протяженность до нескольких десятков метров. Встречаются тела овальной формы в поперечном срезе (о. Еловый, Кандалакшский архипелаг), которые являются трубками взрыва. Граница Мохо под Карельским кратоном, к которому относится Кандалакшский грабен, находится на глубине порядка 55 км, в строении коры выделяют нижнекоровый слой мощностью 12–15 км. Этот слой по данным некоторых исследователей сложен гранатовыми гранулитами и пироксенитами. Дайки и диатрема содержат ксенолиты разного состава, в том числе, клинопироксениты, для которых сложно определить условия образования.

Благодаря находкам комплексных ксенолитов можно предположить, что данные клинопироксениты могут быть связаны с гранулитами, для которых возможно определить РТ-параметры. Ввиду того, что вмещающие породы относятся к щелочному ряду, многие образцы сильно подвержены вторичным изменениям и контаминации; это существенно усложняет определение валового состава ксенолитов с помощью инструментальных методов анализа. В таких случаях используются данные по локальным составам зерен и количественный минералогический анализ.

В результате исследований образцов из комплексных ксенолитов получены новые данные о валовом составе, составе минералов гранатовых клинопироксенитов и сделаны предварительные выводы о РТ-условиях их образования.

*Проект выполняется на оборудовании ресурсного центра «Микроскопии и микроанализа» Научного парка СПбГУ.*

## **General characteristics of pyroxenite xenoliths from dykes and volcanic pipes of the Kandalaksha graben, the White Sea**

*Yarkova D. D. \**

Saint Petersburg University, Institute of Earth Sciences, Department of Petrography, Saint Petersburg

\* e-mail: st063689@student.spbu.ru

During the Kandalaksha graben Paleozoic reactivation, alkaline dike series developed within the graben. Many dykes belonging to Kandalaksha gulf contain xenoliths of various compositions. There are complex xenoliths associated with granulites for which thermodynamic parameters can be determined. These xenoliths are important for determining the origin of lower-crust rocks.

## Сравнительная характеристика структуры и эволюции ультра-медленных хребтов Гаккеля и Юго-Западного Индийского

*Санчес Родригес С. Х.<sup>1\*</sup>, Меркурьев С. А.<sup>1,2</sup>*

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (СПБФ ИЗМИРАН), Санкт-Петербург

\* e-mail: juliocesarsanchez954@gmail.com

Срединно-океанические хребты протягиваются через все океаны, образуя единую систему длиной около 70000 км. Ключевым параметром, определяющим морфологию рельефа дна и глубинное строение спрединговых зон, является скорость спрединга. Среди типичных примеров хребтов с ультрамедленной скоростью раскрытия (< 2 см/год) можно выделить хребет Гаккеля (ХГ), расположенный в Северном Ледовитом океане и Юго-Западный Индийский хребет (ЮЗИХ) в Индийском океане. Обе структуры являются северным и южным продолжением Срединно-Атлантического хребта.

Основная цель данной работы — это проведение сравнительного анализа основных особенностей структуры и эволюции двух ультрамедленных хребтов, который включает, прежде всего, сравнение кинематических характеристик и их соотношения с геолого-геофизическими параметрами и морфотектоническими особенностями.

В ходе этой работы были получены следующие результаты:

- выделены спрединговые сегменты, на которые разбиты оси обоих хребтов на основе анализа их морфологии (GEBCO, ETOPO1) и тектонического строения (Sandwell, 2014);
- определены геоморфологические параметры этих сегментов;
- рассчитаны линейные скорости спрединга для каждого сегмента по опубликованным кинематическим моделям движения плит (Merkouriev, S., C. DeMets, 2014; DeMets C, S Merkouriev, D Sauter, 2021);
- построен профиль изменения глубины дна вдоль оси обоих хребтов и параметров сегментов.

Выполненный анализ позволил выявить ряд общих черт и существенные различия между хребтами.

История формирования и геодинамическая обстановка на них существенно различается. ХГ был сформирован около 60 млн. лет назад при расколе континентальной литосферы и расхождении Евразийской и Северо-Американской плит, тогда как ЮЗИХ образовался при расколе океанической литосферы, которая в свою очередь была сформирована после распада суперконтинента Гондваны 160 млн. лет назад и расхождения Африканской и Антарктической плит, в результате кинематических перестроек и перескоков осей спрединга.

Диапазон изменения скоростей спрединга вдоль осей обоих хребтов примерно одинаков и составляет от 1,2 до 0,5 см/год.

Строение и морфология ЮЗИХ более разнообразны по сравнению с ХГ. На ХГ можно выделить всего три «провинции»: западная вулканическая, центральная амагматичная и восточная, в пределах которых практически не наблюдается трансформных разломов. На ЮЗИХ можно выделить семь или более «провинций», каждая из которых характеризуется глубиной оси хребта, шириной рифтовой долины, а также характером зоны разломов: шириной сегментов, амплитудой сдвига оси хребта, формой рельефа, глубиной рифтовой долины и т.д. ЮЗИХ отличается также большей расчлененностью рельефа вдоль оси хребта.

Перечисленные выше различия рассматриваемых ультрамедленных хребтов, по всей видимости, связаны с тем, что ЮЗИХ, а особенно его крайне западная, центральная и восточная части находятся под влиянием горячих точек, тогда как в формировании и развитии ХГ наличие и, соответственно, роли горячих точек не выявлено.

## Comparative characteristics of the structure and evolution of the ultra-slow Gakkell and Southwest Indian ridges

*Sanchez Rodríguez C. J.<sup>1\*</sup>, Merkuriev S.<sup>1,2</sup>*

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg Branch of the Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS (SPBF IZMIRAN), Saint Petersburg

\* e-mail: juliocesarsanchez954@gmail.com

Analysis of the morphology, tectonic structure and kinematics of ridges with an ultra-slow rate of spreading (< 2 cm/year) including the Gakkell Ridge located in the Arctic Ocean and the Southwest Indian Ridge in the Indian Ocean made it possible to identify a number of common features and significant differences between them.



**Actin cytoskeleton in calcareous sponge cells: regulatory proteins and involvement in the regeneration**

Skorentseva K.<sup>1\*</sup>, Saidova A.<sup>1</sup>, Lavrov A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, Department of Cell Biology and Histology, Moscow

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

\* e-mail: skorentseva.ksenya.2016@post.bio.msu.ru

The healing process in multicellular animals starts with the restoration of the epithelial cell layer, as it is crucially important to isolate the inner environment from the external damaging influence. Two mechanisms are underlying the epithelium restoration: the actin “purse-string” contraction and the collective cell crawling accompanied by the formation of migration structures — filopodia and lamellipodia.

Sponges (phylum Porifera) are extant multicellular animals; they represent a sister group to other metazoans and have unique regeneration abilities. This study aimed to reveal alterations in the actin cytoskeleton and its possible regulation by special proteins during the regeneration in calcareous sponge *Leucosolenia variabilis*. Such an object allows us to obtain unique data on the evolution of healing mechanisms in multicellular animals.

To initiate regeneration oscular tube was transversely cut into rings 1–3 mm wide. These rings have two wound areas located at the cut planes. The regeneration process starts with the formation of a temporary structure, the regenerative membrane (RM), and leads to the formation of new body walls closing the wounds’ orifices. RM has a thickness of 10–15 µm and consists of three cell layers: exopinacoderm, endopinacoderm and the narrow mesohyl layer. The RM appears at ~12–24 hours post-operation (hpo) and its formation relies on the transformations of the pre-existing cell layers, without any contribution of proliferation. The complete RM usually forms at ~48 hpo but its transformation into the intact body wall begins already at ~24–30 hpo. The central event in this process is the substitution of endopinacocytes with choanocytes at the internal side of RM.

The immunocytological studies allowed us to visualize and characterize the actin filaments in the cells of the intact body wall and the RM. We also quantitatively measured changes in cell morphological parameters (area, circularity and aspect ratio) that attendant cell layer transformations during regeneration.

We also found and annotated the mRNA sequences of RhoA, cdc42, Rac1, ROCK and LIMK from the transcriptome and evaluated mRNA expression (by RT-qPCR) of the typical proteins that regulate actin filaments in eukaryotic cells and are known to contribute to actin network rearrangement.

The obtained data expand our knowledge about mechanisms of epithelial healing in basal multicellular animals, contributing to the field of evolutionary and developmental biology.

*This work was supported by the RFBR grant no. 21-54-15006.*

## **Dlx gene expression during morphogenesis of the colony in a marine hydroid *Dynamena pumila***

Vetrova A.<sup>1</sup>, Kupaeva D.<sup>1</sup>, Petri N.<sup>2</sup>, Bredov D.<sup>1,2</sup>, Luchinskaya N.<sup>1</sup>, Kremnyov S.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Developmental Biology RAS, Laboratory of Morphogenesis Evolution, Moscow

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

\* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Dlx genes are a highly conserved family of homeobox transcription factors, noted for their function in the proximal-distal patterning of appendages in animals among different phyla. Dlx orthologs were identified within cnidarians, which form different kinds of “appendages” such as tentacles and branches of the colony. However, the Dlx function is still unknown in cnidarians.

We studied Dlx gene expression in a colonial marine hydroid, *Dynamena pumila*. The *D. pumila* colony consists of stolons spreading over the substrate and upright shoots. Stolons attach to the substrate with anchoring disks, subdivided into several lobes. Shoots consist of repetitive modules: two lateral hydrants and a coenosarc in-between. Growth and morphogenesis of shoots and stolons proceed by the activity of terminally located growth tips.

We detected DpDlx expression in all morphogenetically active regions of the *D. pumila* colony using *in situ* hybridization. During the formation of lobes in the anchoring disk, DpDlx expression accompanies inward-folding of the ectoderm epithelial layer. In stolon and shoot growth tips, DpDlx is expressed on the sides in ectodermal cells, which repetitively change their shape during growth morphogenesis. In the shoot growth tip also, DpDlx expression corresponds to the boundaries between the hydrant primordia and the new shoot growth tip in the center. These boundaries are formed via active epithelial morphogenesis. During the novel shoot formation, DpDlx is expressed firstly in the site of future outgrowth and later around, demarcating the growing shoot from the rest of the colony. Hydrants and the most terminal parts of growth tips are demarcated from the colony by rings of DpDlx expression either.

Spatial expression pattern of DpDlx suggests that this gene participates in the establishment of boundaries between different parts of the developing colony. To test this hypothesis and analyze evolutionary conservative functions of DpDlx, we expressed DpDlx in *Xenopus laevis* embryos and examined the boundary specification between neural and epidermal tissues. Previously, it has been shown that *Xenopus* Dlx establish this boundary.

N-tubulin is a marker gene of lateral neurons, forming on the boundary between neural and epidermal tissues. Thus, expression of N-tubulin marks specification of this boundary. Injection of DpDlx in *Xenopus* embryos disrupts N-tubulin expression and blurs the boundary between neural and epidermal tissues.

Thus, highly likely, the conservative function of the Dlx gene is not the development of “appendages” but the specification of boundaries between parts of the developing organism.

*The study was funded by RFBR, project number 20-04-00978a.*

***Spirorbis spirorbis* (Linnaeus, 1758) — перспективный модельный объект для исследования эволюции механизмов становления лево-правой асимметрии тела у Spiralia**

Андропова Е. И.<sup>1\*</sup>, Колбасова Г. Д.<sup>2</sup>, Кремнев С. В.<sup>1,2</sup>

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

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

\* e-mail: comatrichandronova@gmail.com

Асимметрия относительно переднезадней оси тела является важной чертой плана строения билатерально-симметричных животных (Bilateria). Наиболее ярко эта черта у взрослых организмов проявляется в группе Spiralia у брюхоногих моллюсков (Gastropoda) и выражается в закручивании раковины в правую или левую сторону. В классе Gastropoda ранние проявления эмбриональной хиральности контролируются динамикой цитоскелета в ходе стадий дробления эмбриона и последующей асимметричной активацией генов *Nodal* и *Pitx*, функциональная активность которых, в свою очередь, определяет морфологическую лево-правую асимметрию тела моллюсков и направление закручивания раковины. Несмотря на большие достижения в понимании механизмов становления лево-правой оси у моллюсков, мы мало что знаем о формировании лево-правой оси у представителей других таксонов Spiralia. Данные о наличии и функциональной роли элементов каскада, реализующего сигнал генов семейства *Nodal* у такой крупной филогенетической группы как Spiralia (кроме как у брюхоногих моллюсков), крайне фрагментарны и даже противоречивы. Представители рода *Spirorbis* (тип Annelida) одни из немногих животных группы Spiralia, кроме моллюсков, проявляющих яркую хиральность взрослого тела: у спирорбиса, помимо асимметричного расположения ресничного желобка и оперкулюма, спирально изогнуто все тело, которое заключено в спирально закрученную раковину. В качестве модельного объекта для исследования молекулярных механизмов лево-правой асимметрии у Spiralia мы используем *Spirorbis spirorbis* (Linnaeus, 1758). Нами был проанализирован паттерн спирального дробления у нашего модельного объекта, а также начаты работы по исследованию роли *Nodal* сигнального каскада в становлении лево-правой асимметрии тела. Результаты, полученные в ходе выполнения нашей работы, позволят существенно расширить знания о роли элементов сигнального пути, активируемого *Nodal*-подобными лигандами у представителей группы Spiralia.

***Spirorbis spirorbis* (Linnaeus, 1758) is a promising model object for studying the evolution of mechanisms for the formation of left-right asymmetry in Spiralia**

Andronova E. I.<sup>1\*</sup>, Kolbasova G. D.<sup>2</sup>, Kremnyov S. V.<sup>1,2</sup>

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

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

\* e-mail: comatrichandronova@gmail.com

Currently, the mechanism of the formation of left-right asymmetry among Spiralia has been studied in detail only for Gastropoda. In our work, we propose to use a segmented worm *Spirorbis* (Annelida) as a model organism to study evolution of molecular mechanisms of left-right body axis establishment in Spiralia.

## Клеточные источники формирования бластемы в ходе регенерации седентарной аннелиды

### *Pygospio elegans* (Spionidae)

Астер К. З.<sup>1,3</sup>, Старунов В.В.<sup>2,3</sup>, Старунова З. И.<sup>3</sup>, Новикова Е. Л.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория эволюционной морфологии

\* e-mail: clem.aster1218@gmail.com

В изучении регенерации аннелиды — важная группа, в которой потенции к регенерации и ее механизмы очень разнообразны и могут различаться даже у разных видов одного рода. Наше внимание привлек *Pygospio elegans* — небольшая, гетеромно сегментированная аннелида из семейства Spionidae, которая за довольно короткий срок может восстановить и передний, и задний концы тела. В рамках изучения клеточных механизмов регенерации *P. elegans* мы обратили внимание на проблему клеточных источников формирования бластемы. Бластема — это скопление активно делящихся недифференцированных клеток, которые впоследствии дадут начало новым восстанавливающимся структурам. Так, для некоторых видов аннелид описана роль соматических стволовых клеток в репарации утраченных частей тела; они мигрируют к ране, пролиферируют и затем дифференцируются. В то же время многие исследования указывают на дедифференцировку прилежащих к ране клеток и их последующую редифференцировку.

Клеточная пролиферация в интактном теле червя может служить маркером наличия стволовых клеток, а появление пролиферативной активности только в ответ на повреждение — маркером дедифференцировки. Для того, чтобы изучить эти процессы и определить источники пролиферирующих клеток в ходе регенерации у *P. elegans*, мы выбрали метод включения 5-этинил-2'-дезоксисуридина (EdU) в живых червей на разных стадиях регенерации. В дальнейшем мы планируем проанализировать экспрессию генов — маркеров половых и мультипотентных клеток (Germline/Multipotency Program genes, GMP), так как наличие их продуктов в клетках может служить показателем недифференцированного состояния клеток.

*Исследование поддержано грантом РФФ 21-14-00304.*

## Cellular sources of the blastema formation in regeneration of sedentary annelid *Pygospio elegans*

### (Spionidae)

Aster K. Z.<sup>1,3</sup>, Starunov V.<sup>2,3</sup>, Starunova Z.<sup>3</sup>, Novikova E.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of evolutionary morphology

\* e-mail: clem.aster1218@gmail.com

*Pygospio elegans* is a sedentary annelid that has an ability to regenerate both anterior and posterior body parts. We study cellular mechanisms of its regeneration, particularly cellular sources of blastema formation after an injury.

## **Towards deciphering signaling interactions, cellular populations, and ultrastructural changes at the early stages of *Alitta virens* regeneration**

*Shalaeva A. \*, Denisova S., Kozin V.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

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

The earliest events in response to amputation have the most significant role for successful regeneration. Those events involve wound closure through muscle contraction and formation of the wound plug ensuring that regeneration may happen. Later, when the wound epithelium is formed, underlying cells proliferate and the main event in the epimorphic regeneration, the blastema formation, begins. The source of those cells in many annelids is known to involve cellular dedifferentiation in the tissues of the wound-adjacent segment and in some instances stem cells migration from segments that are further away from the amputation site. Dedifferentiation and the subsequent proliferation of the blastemal cells are the main events, occurring in the posterior regeneration in the nereid polychaete *Alitta virens*.

EdU incorporation immediately after amputation demonstrate that the cells of the regenerative bud, forming after two days, are actively proliferating, which we can tell by the EdU label dilution. In the growing regenerate we were able to find two populations: epithelial cells of the bud and some blastemal cells are more mitotically active, whereas others are labeled more vividly and thus represent slowly dividing blastemal cells. EdU incubation before the operation demonstrate that individual EdU+ nuclei were present in the muscle fibers and in the ventral nerve cord. When blastema is formed by 2 dpa, blurred label was found in there, which means that those precursor cells were actively proliferating. Transmission electron microscopy of the early-stage regenerates agrees with our experimental observations. Wound epithelium, which is formed through contact of the gut and segment epithelium loses its differentiated state. By 2 dpa latest, extensive masses of cellular debris as well as some morphotypes of dedifferentiated mesenchyme cells were found underneath the wound epithelium. We were also able to uncover some stratification in the cells that form the regenerative bud: smaller loosely located cells in the dorsal and lateral parts and bigger and more compactly packed cells contacting the neuropil in medial ventral part. Pharmacological suppression of the FGF pathway, which is crucial on the early stages of regeneration, and subsequent *in situ* hybridization for genes involved in the early response such as *vasa*, *piwil*, *twist* allow us to assume that the induction of the mesodermal cell sources through dedifferentiation is severely disturbed after FGF inhibition.

Altogether our data allow us to estimate the importance of the early stages of the regeneration and evaluate the morphogenetic events happening at the ultrastructural, molecular, and cellular levels, which broadens our knowledge of those processes and helps to move the regeneration research forward.

*This research was funded by the RSF grant 21-74-00055. We are grateful to the research resource centers "Microscopy and Microanalysis", "Molecular and cell technologies" and the Educational and Research station "Belomorskaia" of Saint Petersburg State University for technical support.*

## Определение вовлеченности Wnt-сигналинга в процессы формирования ларвальных и постларвальных сегментов у *Alitta virens*

Кайров А. И. \*, Костюченко Р. П., Козин В. В.

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

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

Сегментация — явление, наблюдаемое у таких групп животных, как членистоногие, позвоночные и аннелиды. До сих пор остается неясным, является ли сегментация предковым признаком, унаследованным от Urbilateria, или же она возникла путем конвергенции. Молекулярные механизмы, обладают как сходствами, так и различиями, что не позволяет однозначно говорить о ее происхождении. Если строго придерживаться принципа парсимонии, то наиболее вероятно независимое возникновение сегментации.

В наше время наиболее изученными являются процесс сегментации параксиальной мезодермы (сомитогенез) у позвоночных животных и зародышевой полоски у насекомых. С сегментацией связан процесс терминального роста, в ходе которого зона роста продуцирует материал для новых сегментов. На молекулярном уровне в процессе терминального роста принимают участие Wnt и Delta/Notch сигналинг, а также ген *cdx*, с которым Wnt-сигналинг образует петлю обратной связи. Этот механизм является достаточно консервативным среди Bilateria. При нарушении работы этих компонентов происходит нарушение сегментации и паттернирования тела зародыша вдоль переднезадней оси.

Для полного понимания эволюционного происхождения сегментации необходимо подробнее исследовать представителей третьей группы животных, имеющих сегментацию, а именно аннелид. Хорошим модельным объектом для этого являются нереидные полихеты, в частности, объект исследования — беломорская полихета *Alitta virens*. Сегментация у полихет возникает в два этапа. Сперва на несегментированной личинке одновременно формируются ларвальные (личиные) сегменты, после этого образуется зона роста и последовательно начинают образовываться постларвальные сегменты.

Целью работы является определение вовлеченности Wnt-сигналинга в процессы формирования ларвальных и постларвальных сегментов. Основным методом работы является ингибиторный анализ, который позволяет гиперактивировать или подавлять Wnt-сигналинг. Несмотря на то, что ларвальная и постларвальная сегментация у аннелид имеет разное происхождение, полученные нами данные говорят об участии Wnt-сигналинга в обоих процессах. При гиперактивации Wnt-сигналинга в период раннего личиночного развития вместо метатрохофор образуются вытянутые личинки, лишённые сегментации. Изменения в экспрессии генов сегментации *wnt1* и *engrailed* на этапе трохофоры полностью согласуются с фенотипами у метатрохофор. Обработка модуляторами в период функционирования зоны роста приводит к задержке формирования первого постларвального сегмента и к практически полному подавлению клеточных делений. Полученные данные показывают консервативную роль Wnt-сигналинга в процессах сегментации, что важно для понимания ее возникновения в ходе эволюции.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-74-00055 на базе МБС СПбГУ и РЦ ММ СПбГУ.*

## Concerning the role of Wnt signaling in larval and postlarval segmentation in *Alitta virens*

Kairov A. \*, Kostyuchenko R., Kozin V.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

Segmentation is a character which origin in the evolution remains unknown. Wnt signaling plays a key role in this process. Here we evaluate its role during larval and postlarval segmentation in the marine annelid *Alitta virens*. Our data provide insights into conservatism of the molecular regulation of segments development.

## Дупликация ParaHox генов в линии олигохет

Амосов А. В.<sup>1,2\*</sup>, Костюченко Р. П.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург

\* e-mail: artem221199@mail.ru

Разнообразие механизмов развития и способность к регенерации и бесполому размножению у Metazoa представляет собой интригующую проблему для эволюционной биологии. Широкая таксономическая выборка важна для улучшения нашего понимания различных эмбриональных и постэмбриональных морфогенезов, а исследования вне традиционных модельных организмов являются чрезвычайно информативными. Одним из наиболее важных механизмов эволюции программ развития, диверсификации планов строения животных и способности к различным формам постэмбрионального развития является дупликация ключевых транскрипционных регуляторов, их экспансия и коопция в новые морфогенетические события.

Гомеобокс-содержащие гены *Gsx*, *Xlox* и *Cdx* относятся к семейству ParaHox класса Antennapedia. Впервые в качестве семейства они были описаны у ланцетника в составе полноценного кластера и, как оказалось, кластеризация является их характерной чертой. По современным представлениям ParaHox и Hox-гены, появились при дупликации предкового ProtoHox кластера, включавшего от двух до четырех генов у общего предка книдарий и билатерий. При всем многообразии изученных моделей, знания экспрессии и функций данных генов остаются неполными и в основном касаются роли ParaHox-генов в эмбриональном развитии. Однако на примере позвоночных показано, что данные гены активно экспрессируются и в постэмбриональном периоде и могут выполнять функции, важные в том числе с точки зрения прикладной науки.

В настоящей работе мы идентифицировали и клонировали гомологи всех трех ParaHox генов для нескольких видов аннелид, демонстрирующих разные стратегии эмбрионального и постэмбрионального развития. Наши результаты свидетельствуют в пользу дупликации ParaHox генов в линии олигохет.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФ 22-24-00443 с использованием оборудования РЦ РМиКТ СПбГУ.*

## Duplication of ParaHox genes in the oligochaete lineage

Amosov A.<sup>1,2\*</sup>, Kostyuchenko R.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: artem221199@mail.ru

The diversity of developmental processes across the Metazoa present an intriguing challenge in evolutionary biology. One of the most important mechanisms for the evolution of developmental programs is the duplication and expansion of key transcriptional regulators. Our results suggest a duplication of the ParaHox genes in the oligochaete lineage.

## Investigation of mobile elements expression at different stages of trematode *Himasthla elongata* life cycle

Smolyaninova A.<sup>1\*</sup>, Solovyeva A.<sup>1,2</sup>, Podgornaya O.<sup>1,3</sup>

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

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

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

\* e-mail: sar28sir14@rambler.ru

Mobile genetic elements (MGE) occupy from 20 to 80% of the eukaryotic genomes and play an important role in genomic instability. In some animals, several different phenotypes are realized on the basis of the genome, for example, in insects with a complete transformation, coelenterates and parasitic flatworms. The life cycles (LC) of trematodes, which include the alternation of parthenogenetic and hermaphroditic generations, are of great interest. Regulation involves complex molecular mechanisms, and MGE seem to play an important role in it.

In this work, we validated primers specific for MGE for real-time PCR. Rediae and cercariae of *Himasthla elongata* (Trematoda. Himasthliidae) were selected to assess the expression of MGE. The MGE database of *H. elongata* was created earlier and used to pick primers. Primers specific to five MGE from the RTE-BovB family, the most numerous, five unclassified elements (Unknown), as well as the transposons Pao, Gypsy, Penelope, Perere, Zenon, CR1-renegade, Rex\Babar, L2, Tc1 and mariner were tested on redia and cercariae cDNA by PCR. It was determined that the cDNA of rediae and cercariae contains transcripts of all studied MGEs. Amplification with three primers specific for the RTE-BovB family and one primer for unclassified elements (Unknown) resulted in multiple PCR products. This is due to the fact, that mobile element copies can have different lengths in the genome due to imperfect retroposition mechanism, and, accordingly, different sizes of transcripts. Single PCR products were obtained for: two RTE-BovB transposons, two unclassified elements (Unknown), Pao, Gypsy, Penelope, Perere, Zenon, CR1-renegade, Rex\Babar, L2, Tc1 and mariner. Primers for these transposons were selected for further experiments. Actin was chosen as a reference gene for evaluating the expression of MGE by real-time PCR, since according to the results of test real-time PCR, the GAPDH gene was not expressed uniformly.

Thus, the expression of MGE is present in at least two stages of *H. elongata* life cycle. The results obtained will be used in the future to quantify the transposons' expression *in vitro* at different stages of the life cycle.

*The study was supported by RSF grant No. 19-74-20102.*



## Антимикробная активность в тканях *Littorina littorea*

Гафарова Е. Р. \*, Мальцева А. Л., Гранович А. И.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru, st047483@student.spbu.ru

Взаимодействия между многоклеточными эукариотами и прокариотами разнообразны и зачастую вносят решающий вклад в адаптацию многоклеточных хозяев к занимаемой экологической нише. Прокариотические организмы желудочно-кишечного тракта позвоночных и беспозвоночных могут воздействовать на обмен веществ, влиять на развитие не только пищеварительной, но также иммунной, кровеносной и нервной системы, существенно менять физиологию и поведение животных. В свою очередь, длительное сожительство с многоклеточными может вызывать изменения в геноме бактерий. Например, симбионты могут утрачивать элементы каскадов биосинтеза аминокислот, целые блоки энергетического метаболизма и пр.

В качестве объекта исследований нами были выбраны моллюски рода *Littorina* и ассоциированные с ними микробные сообщества. Литторины — информативный модельный объект для анализа разновозрастных эволюционных процессов, связанных со специализацией и освоением новых экологических ниш. Анализ комплексов микроорганизмов, с которыми разные виды рода *Littorina* формируют стабильные ассоциации, а также механизмов регуляции этих ассоциаций — актуальная задача и в контексте частной биологии литторин, и с общебиологической точки зрения. Выход в новую экологическую нишу сопровождается сменой набора микроорганизмов, с которыми организм контактирует, что влияет на физиологию и поведение хозяина, и может иметь значение для дивергенции.

Ранее мы выявили, что состав ассоциированных с литторинами микробных сообществ отличается от средовых, что в составе ассоциированных сообществ есть выражено доминирующие по обилию бактерии, но основу разнообразия ассоциированных сообществ составляют малопредставленные таксономические единицы; причем именно такие бактерии специфичны для определенных видов моллюсков.

Стабильность ассоциированных с литторинами бактериальных сообществ подразумевает функционирование механизмов, регулирующих состав таких ассоциаций. В частности, интерес представляют активные эффекторы, проявляющие антимикробную активность, среди которых наиболее изучены антимикробные пептиды. Эти вещества могут иметь широкий спектр действия и через проявление бактерицидного или бактериостатического эффекта в тканях хозяина осуществлять регулирование ассоциированного сообщества.

Для выявления природы и места аккумуляции антимикробных компонентов в организме литторин были зафиксированы части тела моллюсков *L. littorea*, эпителии которых заселены бактериями (жабры, кишечник, протоки половой системы). Серии антимикробных тестирований показали, что экстракты тканей *L. littorea* проявляют антимикробную активность в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. Природа активных компонентов отдельных фракций этих экстрактов в настоящий момент устанавливается с использованием масс-спектрометрии.

## Antimicrobial activity in several *Littorina littorea* tissues

Gafarova E. \*, Maltseva A., Granovitch A.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru, st047483@student.spbu.ru

This study is an analysis of microorganisms forming stable association with *Littorina* snails. Our previous results showed some patterns in associated microbiome composition. This implies the presence of the regulatory mechanisms in the system, apparently antimicrobial peptides produced by host. We use a series of antimicrobial tests and mass spectrometry to study these substances.

**Новый вид рода *Vannella* Bovee, 1965 (Amoebozoa, Discosea), из Средиземного моря: морфология, филогения и отношение к солености среды**

*Войтинский Ф. П.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Биологический факультет, Кафедра зоологии беспозвоночных

Зоологический институт РАН, Лаборатория клеточной и молекулярной протистологии

\* e-mail: veles-2015@yandex.ru

Одним из наиболее изученных родов голых лобозных амёб является *Vannella* Bovee, 1965, представители которого распространены повсеместно. В данном сообщении мы представляем результаты исследования нового штамма амёб этого рода с использованием методов световой и электронной микроскопии, и молекулярно-филогенетического анализа. Диапазон соленостной толерантности штамма определили экспериментально, высевая клетки из среды с соленостью 40‰ в искусственную морскую воду с диапазоном солености 10–90‰ (три повторности на каждое экспериментальное значение). Далее скорость размножения клеточек определяли в процессе инкубации экспериментальных и контрольных культур при постоянной температуре. Изученный штамм был выделен из смывов прибрежных макроводорослей, собранных на пляже Акротири (Кипр, Средиземное море), координаты: 34,63777N, 33,00949E, соленость на момент сбора 40‰. Результаты светооптического исследования указывают на принадлежность штамма к роду *Vannella*, о чем говорит характерная локомоторная форма: клетки уплощенные и широкие, образуют широкую фронтальную зону гиалоплазмы с закругленным передним краем. Результаты электронно-микроскопического исследования показали, что морфология изученного штамма типична для представителей рода *Vannella*. Однако покров клетки представлен аморфным гликокаликсом который не содержит характерных для других ваннелл пентагональных гликостилей или филаментов. Результаты филогенетического анализа показали, что ближайшие родственники изучаемого штамма, имеющие видовые названия, это *Vannella aberdonica* и *V. devonica*, которые, несмотря на сильные морфологические различия образуют кладу с высоким уровнем поддержки. Эта кладка также включает в себя несколько неидентифицированных штаммов (в частности, *Vannella* sp. ISOKONT JQ271741 и *Vannella* sp. DB282 AY929920). Проведенные исследования морфологических признаков и анализ филогенетических взаимоотношений изученного штамма позволяют описать его как новый вид рода *Vannella*. Для морских амёб, в особенности ваннеллид, характерны широкие диапазоны соленостной толерантности. Многие ваннеллы, выделенные из морских биотопов, способны выживать и размножаться в диапазоне значений 7,5–30‰ (*V. douvresi*, *V. langae*, *V. murchelanoi*) или даже в более широких (например, 12–122‰ у *V. mira*). Изученные нами представители рода в эксперименте по соленостной толерантности показывали наибольшую интенсивность размножения в диапазоне 30–40‰, прекращая размножение в воде с соленостью 10 и 50‰, что может быть объяснено эволюционной историей штамма, в ходе которой он редко контактировал с пресной или распресненной водой, а также с водой высокой солености. Такой узкий диапазон соленостной толерантности представляет особый интерес для исследования закономерностей распространения ваннеллид в морских и солоноватоводных биотопах.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-14-00181 с использованием оборудования ЦКП «Таксон» ЗИИ РАН.*

**A new species of the genus *Vannella* Bovee, 1965 (Amoebozoa, Discosea), from the Mediterranean: morphology, phylogeny and response to the salinity of the environment**

*Voitinsky F.*

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

Zoological Institute RAS, Laboratory of Cellular and Molecular Protistology

\* e-mail: veles-2015@yandex.ru

One of the most studied genera of naked lobose amoebae is the ubiquitous *Vannella* Bovee, 1965. In this report, we present the data on morphology, molecular phylogenetic relationships, and salinity tolerance range of a new strain of this genus isolated from the Mediterranean coastal biotope.

## Разнообразие фенотипов гонофоров у генетически полиморфных гидроидов *Sarsia lovenii* (Hydrozoa: Corynidae) из Белого моря

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

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

<sup>2</sup> Университет Вены, Вена, Австрия

<sup>3</sup> Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, Москва

\* e-mail: tatiana.bagaeva@univie.ac.at

Сложный жизненный цикл гидроидных включает пелагическую медузоидную и донную полипоидную стадии развития. Медузоидные особи, гонофоры, развиваются на донных гидроидах и формируют гонады после отрыва медузы от материнской колонии. Редукция медузоидного поколения — широко распространенная эволюционная тенденция среди гидроидных. Редуцированные медузоидные особи утрачивают многие черты строения свободноплавающей медузы и формируют половые продукты, не отрываясь от материнской колонии. Молекулярные механизмы редукции медузы у гидроидных пока мало изучены. Ранее для Белого моря была описана сложная популяционная структура гидроидных *S. lovenii*, которая включает две гаплогруппы с разными типами гонофоров, а также доказана возможность гибридизации между этими гаплогруппами. Целью нашей работы было более полное описание внутривидового генетического разнообразия у *S. lovenii* в Белом море с использованием митохондриального (COI) и ядерного (ITS) фрагментов ДНК, а также поиск морфологических отличий в строении гонофоров. В работе использовались колонии гидроидов *S. lovenii*, собранные в акватории беломорской биостанции им. Н. А. Перцова, а также колонии, полученные экспериментально при скрещивании половых продуктов гонофоров разных типов (медуз и медузоидов). При анализе строения гонофоров было выявлено четыре морфотипа: 1) свободноплавающие медузы, которые рано отпочковываются от материнской колонии и формируют гонады в процессе длительного периода жизни в пелагиали; 2–3) два морфотипа гонофоров, которые долгое время удерживаются на материнской колонии и формируют гонады до момента отрыва от колонии, а в случае отрыва от материнской колонии они способны к активному движению; 4) медузоиды, которые не отпочковываются от материнской колонии и не способны к активному движению в случае случайного отрыва. Перечисленные морфотипы отличались формой и размерами колокола, строением щупальцевых бульб, наличием или отсутствием глазков и щупалец, формой манубриума. Каждый из выявленных морфотипов гонофоров имел свой характерный период появления на колониях гидроидных в море. По результатам анализа митохондриального (COI) и ядерного (ITS) фрагментов ДНК было установлено, что выделенные морфотипы коррелируют с выявленным генетическим полиморфизмом вида. Для секвенирования гибридных форм мы использовали методику клонирования пцр продукта. Также, нами проведен гистологический анализ гонофоров разных морфотипов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 21-74-00129.

## Diversity of gonophore phenotypes in genetically polymorphic hydroids *Sarsia lovenii* (Hydrozoa: Corynidae) from the White Sea

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

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

<sup>2</sup> Vienna University, Vienna, Austria

<sup>3</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow

\* e-mail: tatiana.bagaeva@univie.ac.at

The aim of our work is to identify the molecular mechanisms of speciation which are related to the evolution of a complex life cycle. This issue is included in the framework of EcoEvoDevo. To resolve the problem, we started from comprehensive phylogenetic analysis of the polymorphic populations of *Sarsia lovenii* with morphologically various gonophores.

## **Морфологический анализ нервной и мышечной системы ропалоидов *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — новый взгляд на функции адгезионных органов**

Домрачева М. М.<sup>1\*</sup>, Хабибулина В. Р.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ресурсный центр «Культивирование микроорганизмов» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург

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

Staurozoa — небольшая группа морских сидячих медуз. Их тело состоит из стебелька, прикрепляющегося к субстрату с помощью подошвы, и чашечки с восемью руками, оканчивающимися пучками вторичных щупалец. Многие представители Staurozoa несут восемь ропалоидов — видоизмененных первичных щупалец. 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, подобно ропалиям других медуз.

Мы исследовали организацию нервной и мышечной системы в ропалоидах *Haliclystus auricula*, собранных в Зеленецкой губе Баренцева моря в июле 2021 г., с помощью окраски фаллоидином и антителами к FMRFамиду, тубулину и нейротензину. Ропалоиды *H. auricula* имеют вид бобовидных структур с бороздкой на дистальной части. Они соединены с чашечкой небольшой ножкой, в которой проходит канал гастроваскулярной системы. Мышечные элементы ропалоида образуют две группы — веерообразное скопление вокруг бороздки и пучок коротких продольных волокон в ножке ропалоида. Веерообразно расположенная мускулатура бороздки может выполнять функцию присоски, обеспечивая механическое прикрепление чашечки к субстрату. Мускулатура ножки, вероятно, регулирует положение ропалоида относительно чашечки.

Основные нервные элементы ропалоида сконцентрированы в области бороздки в виде сети, в которой FMRFамид- и тубулин-иммунореактивные элементы колокализированы. В основании ножки FMRFамидергические нервные элементы образуют более плотный плексус. В эпидермальном слое ножки залегает сеть тубулин-иммунореактивных клеток, не связанных с плексусом FMRFамидергических клеток. Вероятно, FMRFамид- и тубулин-иммунореактивные нервные элементы регулируют работу мускулатуры бороздки и ножки ропалоида. В эпидермальном слое ропалоида расположены одиночные FMRFамид-иммунореактивные клетки, расширенная часть которых лежит у поверхности, а отросток направлен к нервной сети бороздки, однако соединения с ней не выявлено. Одиночные клетки по локализации и строению схожи с рецепторными клетками и, вероятно, обеспечивают рецепторную функцию ропалоида. Нейротензин-иммунореактивные элементы локализуются в основании ропалоида и в стенке гастроваскулярного канала, у некоторых из них удалось визуализировать отростки. Нейротензинергические клетки, предположительно, регулируют выделение адгезивного секрета и пищеварительных ферментов.

Таким образом, морфологический анализ мышечной и нервной системы ропалоидов *H. auricula* позволяет предположить, что эти органы используются не только для приклеивания, но и для механического прикрепления чашечки к субстрату, а также, вероятно, способны к рецепции.

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

## **Morphological analysis of muscle and nerve organization in rhopaloids of *Haliclystus auricula* (Cnidaria: Staurozoa) — a new look at the functions of adhesive organs**

Domracheva M. M.<sup>1\*</sup>, Khabibulina V. R.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University Research Park Centre for Culture Collection of Microorganisms

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

Staurozoa is a group of stalked jellyfishes, which often have adhesive anchors, so-called rhopaloids. It is assumed that anchors can provide a sensory function. Our research includes morphological analysis of muscle and nerve organization in rhopaloids of *Haliclystus auricula* by labeling with phalloidin and antibodies to FMRFamide, tubulin and neurotensin.

## Новые данные об ультраструктуре строения эпителиев гребневика *Beroe cucumis*

Яковлева А. И. \*, Прудковский А. А., Ворцепнева Е. В.

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

\* e-mail: jakovleva\_ana@mail.ru

Формирование эпителиальной ткани стало, пожалуй, одной из важнейших вех в эволюции Metazoa. Для низших беспозвоночных эпителий стал важнейшим приобретением, которое позволяет разграничивать внутреннюю среду организма от внешней среды и одновременно поддерживать их функциональную взаимосвязь. Современные представления о строении эпителиев гребневиков базируются на немногочисленных и разрозненных ультраструктурных данных, полученных во второй половине XX века. Эти данные получены только для нескольких видов и не охватывают всего разнообразия эпителиальных структур, которые можно идентифицировать в анатомическом строении гребневиков. Таким образом, в настоящее время трудно ответить на вопрос, как устроен типичный эпителий гребневиков и насколько могут отличаться эпителии различных анатомических структур.

Целью нашего исследования стало детальное описание эпителиев гребневика *Beroe cucumis* из разных участков тела. Нами получены новые данные для некоторых ранее неизученных эпителиев гребневика *B. cucumis*, включая покровный эпителий между рядами гребных пластинок, эпителий рта и эпителий воронки.

Покровный эпителий между рядами гребных пластинок состоит из железистых и поддерживающих клеток. Железистые клетки секретируют слизь, покрывающую поверхность тела гребневика. Поддерживающие клетки имеют отростки, которые окутывают апикальные части незрелой железистой клетки. В эпителии рта мы обнаружили новый для гребневиков тип клеток — палочковидные, которые, предположительно, являются ядовитыми.

Нами впервые был подробно описан эпителий воронки — центрального отдела гастроваскулярной системы (ГВС), который интегрирует между собой все каналы. Гастродермис воронки состоит из железистых, поддерживающих и ресничных клеток. Железистые клетки внешне похожи на уплощенные гранулярные клетки рта и глотки, из чего можно предположить, что в воронке продолжается процесс внеклеточного пищеварения, который начинается во рту.

Эпителии гребневиков подстланы рыхлой гомогенной базальной пластинкой без выраженной слоистости. Фиксация материала с использованием красителя Рутений красный позволила отчетливее визуализировать внеклеточный матрикс, включая базальную пластинку. Ее толщина в эпителиях варьирует от 100 до 500 нм.

В эпителиях *Beroe* нами были обнаружены адгезивные, щелевые и «плотные» межклеточные контакты. Аналогичные по морфологии плотные контакты среди Metazoa встречаются только у позвоночных животных. У беспозвоночных плотные контакты отсутствуют, а их аналогом являются септированные контакты, которые у гребневиков отмечены не были.

Таким образом, структура эпителиев гребневиков зависит от местоположения и функциональной роли эпителия. В целом для изученных эпителиев можно выделить общие черты строения, заключающиеся в расположении межклеточных контактов и морфологии базальной пластинки.

## New data on the ultrafine structure of the epithelia of the ctenophore *Beroe cucumis*

Iakovleva A. \*, Prudkovsky A., Vortsepneva E.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrates Zoology, Moscow

\* e-mail: jakovleva\_ana@mail.ru

The undescribed parts of the epithelial linings, including covering and gastrodermal epithelium in ctenophores, were studied. A new potentially poisonous cell type was found in the mouth epithelium. The morphology of basal lamina was described and Intercellular contacts using transmission electron microscopy were shown.

## **Анатомия переднего конца *Arctostemma arcticum* (Monostilifera, Nemertea)**

*Лихачева Г. В.\*, Чернева И. А.*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет, Кафедра зоологии беспозвоночных

\* e-mail: lihagayka@gmail.com

Немертины — в основном морские несегментированные червеобразные организмы. Характерной чертой этой группы является выворачивающийся хоботок, расположенный в заполненной жидкостью полости (ринхоцели) над кишкой. В настоящее время тип немертины подразделяется на три класса: Palaeonemertea, Pilidiophora и Hoplonemertea.

*Arctostemma arcticum* — немертина из класса Hoplonemertea, ранее относящаяся к большому явно не монофилетическому роду *Tetrastemma*. Анатомическое исследование представителей рода *Arctostemma* никогда не проводилось. Цель нашей работы — изучение микроскопического строения переднего конца немертины *Arctostemma arcticum*.

Материал был собран тралом близ Беломорской биологической станции МГУ летом 2021 года, расслаблен, зафиксирован в глутаральдегиде на модифицированном какодилатном буфере. Два экземпляра после стандартной проводки были помещены в смолу и разложены на серии полутонких срезов толщиной в один микрон.

Поверхность тела *Arctostemma arcticum* покрыта эпителием: вытянутые ресничные эпидермальные клетки чередуются с сенсорными и многочисленными железистыми клетками. Под дермисом лежат тонкие относительно других групп немертин слои мускулатуры. Внутри от мускулатуры располагается паренхима.

Пищевод и просвет хобота открываются в ринхостомадеум. Крупные церебральные ганглии состоят из дорсальной и вентральной пары долей (как и у близкого рода *Tetrastemma*, граница между ними прослеживается слабо) и соединяющих их комиссур, из которых дорсальная расположена выше, а вентральная — ниже ринхоцели. Церебральный орган расположен впереди мозга. Многочисленные сосуды и нервы идут от церебрального ганглия к переднему концу тела.

За церебральным ганглием, на уровне выростов его долей, происходит разделение кишки и хобота с ринхоцелем. В хоботе под внутренним эпителием проходит 10 крупных нервов, погружающихся в мышечный слой. Хорошо просматриваются папиллы хобота с мощно развитым железистым эпителием. Ринхоцельных карманов, как и у представителей рода *Tetrastemma*, нет.

Кишечник без боковых выростов. Пара кровеносных сосудов расположена между ним и крупными латеральными нервными стволами. Гонады двулопастные.

В целом, прослеживаются сходные морфологические черты с родом *Tetrastemma*, что ожидаемо в связи с их родством и согласуется с молекулярно-филогенетическими реконструкциями.

## **Anatomy of the anterior part of *Arctostemma arcticum* (Monostilifera, Nemertea)**

*Likhacheva G.\*, Cherneva I.*

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

\* e-mail: lihagayka@gmail.com

*Arctostemma arcticum*, a newly dedicated nemertean related to the genus *Tetrastemma*, was studied via series of semithin sections. The cerebral organ is located ahead the brain. Ten large nerves pass under the inner epithelium of proboscis. Intestine lacks lateral excrescence. Paired blood vessels are located between the intestine and nerve cords. The gonads have two lobes.

## Строение мозга и иннервация жаберно-лучевого аппарата веерных червей Sabellidae (Sedentaria, Annelida)

Пименов Т. П. \*, Римская-Корсакова Н. Н.

Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва  
\* e-mail: bioclassnik@yandex.com

Веерные черви — сидячие кольчатые черви семейства Sabellidae, обитают в трубках и используют жаберно-лучевой аппарат (ЖЛА) для питания взвесью. Существует две полярные гипотезы относительно центральной нервной системы (ЦНС). Сторонники первой гипотезы считают строение ЦНС эволюционно значимыми консервативными признаками. Сторонники второй гипотезы — строение ЦНС пластично, адаптивно к условиям среды. Для проверки обеих гипотез мы впервые изучили строение головного отдела ЦНС с помощью метода трехмерных реконструкций у двух видов веерных червей, имеющих сходные размеры и разные типы местообитания: *Euchone analis*, населяющей застойные зоны и строящей трубку из осадка, и *Bispira manicata*, живущей на течении на твердых грунтах и использующей только взвесь. Мозг у обоих видов организован по единому плану и включает в себя две пары скоплений перикариев и три главные комиссуры, связанные с двумя парами корешков окологлоточных коннективов. *E. analis* имеет компактные скопления перикариев на дорсальной стороне нейропиля. Перикарии у *B. manicata* широко контактируют с нейропилем мозга. ЖЛА обоих видов иннервируется тремя парами крупных нервных стволов: двумя парами стволов (сливаются в одну пару), иннервирующих оральную сторону лучей, и одной парой — аборальной стороны лучей. Каждая пара распадается на короткие межлучевые нервы. От них в каждый луч заходит пара оральных нервов и пара аборальных (описаны впервые). У *E. analis* крупные стволы аборальной стороны идут по наружной стороне скелета ЖЛА. У *B. manicata* они пролегают вдоль стволов оральной стороны. Впервые проследили иннервацию дорсальных губ, участвующих в питании, связанную с иннервацией оральной стороны жаберных лучей. Обнаружены различия в строении жаберных лучей: у *E. analis* сортировочные пищевые желобки развиты слабее, а пиннулы длиннее, чем у *B. manicata*. *E. analis* имеет объемную ротовую полость со слепыми карманами, а у *B. manicata* она неотличима от пищевода. Исследованные виды при схожих размерах, но разных местообитаниях имеют различия в морфологии мозга и передних придатков: форма скоплений перикариев, ход стволов аборальной стороны лучей, пищевые желобки лучей и длина пиннул, строение ротовой полости. При этом наличие двух пар скоплений перикариев, трех главных комиссур, трех пар корешков нервных стволов ЖЛА, попарное слияние стволов оральной стороны лучей, иннервация дорсальных губ, межлучевые нервы и две пары нервов в каждом луче являются эволюционно значимыми особенностями для группы веерных червей.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ № 18-14-00082-Р.

## The structure of the brain and radiolar crown innervation in Sabellidae (Annelida) fanworms

Pimenov T. \*, Rimskaya-Korsakova N.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrate Zoology, Moscow  
\* e-mail: bioclassnik@yandex.com

The anatomy of the brain and the innervation of the radiolar crown of two species of Sabellidae (*Euchone analis*, *Bispira manicata*) were reconstructed for the first time. The aboral radiolar nerves were described for the first time. The brains and radiolar crown nerves possess a single organization plan in both species.

## Строение катехоламинергической нервной системы *Pygospio elegans*

Бармасова Г. А.<sup>1,2\*</sup>, Старунов В. В.<sup>1,2</sup>, Старунова З. И.<sup>2</sup>, Новикова Е. Л.<sup>2,3</sup>

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

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

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

\* e-mail: st054827@student.spbu.ru

Традиционно катехоламинам у различных беспозвоночных животных приписывается рецепторная функция, однако конкретные детали строения катехоламинергических систем и выполняемых ими функций остаются неизученными для многих групп животных. Строение нервной системы кольчатых червей отличается высоким уровнем вариативности как в рамках всего таксона, так и среди представителей отдельных семейств. Притом изучены подробно лишь некоторые модельные объекты, например, из семейства Spionidae — представители родов *Polydora* и *Laonice*.

*Pygospio elegans* Claparède 1863 — это небольшая седентарная полихета, проводящая жизнь в песчаной трубке. Данный вид широко распространен в северных морях, в том числе в Белом и Баренцевом морях, где мы проводили сбор половозрелых особей. Для выявления деталей строения катехоламинергической нервной системы нами был использован гистохимический метод конденсации моноаминов с глиоксильной кислотой. Визуализацию результатов проводили при помощи конфокального микроскопа Leica TCS SP5.

Катехоламин-положительные структуры были обнаружены как в составе центральной, так и периферической нервной системы. В первом случае среди катехоламинергических клеток присутствуют униполярные клетки, расположенные в сегментарных ганглиях туловищного мозга и в надглоточном ганглии. Тела биполярных клеток располагаются преимущественно в стенке тела животного, особенно много их обнаруживается вокруг пароподий, непосредственно в пароподиях, в головной лопасти, в пальцах и в лопастях пигидия. Длинные отростки этих клеток обнаруживаются как в составе нервов периферических нервов, так и в центральных отделах нервной системы. Подобное расположение клеток позволяет предположить, что они выполняют рецепторную функцию. Отсутствие катехоламинергических структур в области нухальных органов может свидетельствовать о том, что катехоламины не принимают участия в хеморецепции.

Катехоламин-положительные клетки присутствуют в головной лопасти в составе клеток надглоточного ганглия, окологлоточных коннектив, пальпарных и одиннадцати головных нервов. Большая часть катехоламин-положительных структур сосредоточена в стенке тела и образует сложную сеть отростков механорецепторных клеток. Отдельного обсуждения заслуживает строение катехоламинергической системы пальп, в каждой из которых нами была обнаружена пара асимметрично расположенных нервов — крупного, ассоциированного с пищевой бороздкой и небольшого, расположенного медианно, а также многочисленные отростки рецепторных клеток, подходящих к ним. Полученные данные не согласуются с классическими описаниями нервной системы пальп у представителей семейства Spionidae.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФ № 21-14-0030 с использованием оборудования ресурсных центров «Культивирование микроорганизмов» и «Хромас» научного парка СПбГУ, а также ЦКП «Таксон» Зоологического института РАН ([http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/?sphra\\_se\\_id=88790](http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/?sphra_se_id=88790) 24).

## Structure of catecholaminergic system of *Pygospio elegans*

Barmasova G.<sup>1,2\*</sup>, Starunov V.<sup>1,2</sup>, Starunova Z.<sup>2</sup>, Novikova E.<sup>2,3</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of evolutionary morphology, Saint Petersburg

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

\* e-mail: st054827@student.spbu.ru

Our research was devoted to the investigation of organization of catecholamine system of *Pygospio elegans* Claparède 1863 from Spionidae family. Using histochemical method of monoamine condensation with glyoxylic acid we discovered unipolar and bipolar catecholamine-positive cells, the latter mostly belonging in the body wall and presumably performing mechanoreceptor function.



## Строение трофосомы френулятных погонофор (Siboglinidae, Annelida)

Канафина М. М. \*, Римская-Корсакова Н. Н.

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

\* e-mail: mariankanafina@gmail.com

Зибоглиниды — это сидячие бескишечные черви, питающиеся за счет симбиоза с хемоавтотрофными бактериями. Данная группа включает *Frenulata* (Pogonophora), *Vestimentifera*, *Sclerolinum* (древоточцы) и *Osedax* (костоеды). В конце XX столетия показано, что личинки френулят заражаются бактериями алиментарно, при этом клетки кишки становятся бактериоцитами. Однако позже было показано, что у осевших личинок вестиментифер бактерии проникают через кожу и инициируют развитие мезодермальной трофосомы *de novo*. Для того, чтобы понять происхождение трофосомы мы исследовали тонкое и ультратонкое строение трофосомы одного из наиболее базальных видов френулятных зибоглинид, *Oligobrachia haakonmosbiensis* с использованием методов световой и просвечивающей электронной микроскопии. Материалом для работы послужили особи *O. haakonmosbiensis*, собранные в районе сипа Буор-Хая (море Лаптевых).

Считается, что трофосома у френулятных зибоглинид располагается в задней части туловищного сегмента, начинается от аннулы и тянется до опистосомы. Однако, в ходе нашего исследования было обнаружено, что трофосома *O. haakonmosbiensis* начинается раньше и располагается параллельно с половой системой. Трофосома *O. haakonmosbiensis* довольно сильно видоизменяет форму на всем своем протяжении. Впереди она имеет небольшой размер и сильно отеснена крупными дорзальным и вентральным сосудами. В задней части туловища трофосома значительно разрастается и занимает практически все пространство туловищного целома. Трофосома представляет собой полостной орган, впереди образуя единый цилиндр, а в задних участках сильно разветвляется. Стенка трофосомы образована двумя слоями эпителия: внутренним и наружным. С внешней стороны трофосома окружена целомическими клетками внешней обкладки с крупными ядрами, митохондриями, множеством электронно-плотных гранул, липидных капель, гранул гликогена и амилоидными тельцами. Данные клетки соединены межклеточными апикальными контактами. Изнутри трофосома выстлана крупными клетками со светлой цитоплазмой, в базальных частях которых располагаются палочковидные внутривакуолярные бактерии. В цитоплазме бактериоцитов располагаются электронно-светлые гранулы и концентрически-слоистые гранулы (предположительно с кальцием и фосфором). Бактериоциты соединены контактами. В самых задних исследованных нами участках трофосомы мы обнаружили деградирующих бактерий с крупными светлыми везикулами (предположительно элементарной серой). Между слоями клеток внешнего и внутреннего эпителиев залегают кровеносные капилляры, которые отходят от внешней кровеносной обкладки брюшного кровеносного сосуда, а на спинной стороне тела капилляры трофосомы впадают в спинной сосуд. Столь сложно разветвленная архитектура трофосомы у наиболее базального представителя френулятных зибоглинид указывает на большую вероятность мезодермального происхождения трофосомы, что может свидетельствовать о мезодермальном происхождении трофосомы у общего предка зибоглинид.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта No 20-74-10011.*

## The trophosome organization in Frenulate Siboglinidae (Siboglinidae, Annelida)

Kanafina M.I\*, Rimskaya-Korsakova N.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: mariankanafina@gmail.com

The aim of this research was investigation the origin and structure of the trophosome in *Oligobrachia haakonmosbiensis*. The trophosome has different structure in different parts of the trunk. The intricate and branched architecture of the trophosome indicates mesodermal origin of the trophosome.

## Некоторые аспекты внутреннего строения *Caobangia billeti* Giard 1893 (Sabellida, Fabriciidae)

Кроленко В. И.<sup>1\*</sup>, Цетлин А. Б.<sup>1,2</sup>, Колбасова Г. Д.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Беломорская биологическая станция МГУ им. Н. А. Перцова

\* e-mail: vikrolenko@gmail.com

Представители рода *Caobangia* имеют весьма aberrантное строение даже по сравнению с остальными Sabellida. Впервые описанные более века назад, лишь недавно они были вновь найдены в раковинах пресноводных моллюсков из Юго-Восточной Азии. *Caobangia* — симбионты, проделывающие норки в кальцитовом слое раковины. Их тело состоит из трех пар коротких щупалец жаберного венчика, семи сегментов торакса и абдомена, который может включать от трех до тридцати семи сегментов. Наша работа основана на материале по *Caobangia billeti* Giard 1893, собранном во время экспедиции в Северо-Западную часть Вьетнама в 2016 г. Образцы были фиксированы в PBS с азидом натрия, затем для изготовления полутонких срезов переведены в 2,5% глутар-формалин (1:1) или 2,5% глутаральдегид с 0,05 М PBS. Использование современных методов 3D-реконструкции по сериям полутонких срезов позволило провести исследование внутреннего строения и взаиморасположения систем органов в теле *Caobangia*. Так, пищеварительная система имеет форму петли, причем анальное отверстие расположено в торакальном отделе, а большую часть полости тела в абдомене занимает желудок. Кровеносная система представлена обширными лакунами, ассоциированными с кишкой, либо лежащими поперек тела в его задней части. Нервная система включает обычный для сабеллид крупный мозг и сегментарные ганглии в тораксе, но не в абдомене. Половая система гермафродитная, мужская «гонада» лежит под женской, и обе они находятся снизу от желудка, то есть в абдомене; по бокам от женской «гонады» имеются личиночные протоки, называемые также маткой, в которых развиваются личинки. Все это весьма необычно для сабеллид. При этом строение выделительной системы такое же, как и у прочих представителей отряда. Реконструирование проводилось в программе Amira 5.2.2. Наряду с характерными для всех Serpulomorpha морфо-анатомическими чертами, основной среди которых является дорзовентральная инверсия расположения щетинок и фекальной бороздки, *Caobangia* обладают уникальным развитием. Их тело физически перекручивается в процессе онтогенеза; таким образом, состояние инверсии достигается напрямую. Есть основания полагать, что более детальное изучение анатомии представителей этой загадочной группы может стать ключом к пониманию сути инверсии тела всех остальных представителей Sabellida.

## On the internal structure of the *Caobangia billeti* Giard 1893 (Sabellida, Fabriciidae)

Krolenko V.<sup>1\*</sup>, Tzetlin A.<sup>1,2</sup>, Kolbasova G.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: vikrolenko@gmail.com

The genus *Caobangia* (Fabriciidae) is the only ones currently known sabellids twisting and folding during the development. Thus, caobangiids may be the key to understanding inversion in the order Sabellida. Our work is dedicated to the first detailed anatomical investigation of caobangiids using 3D-reconstruction methods.

## **Integrative taxonomy and phylogeography *Eubranchus rupium-exiguus* (Gastropoda: Nudibranchia) species complex**

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

Lomonosov Moscow State University Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: dairiagrishina00@gmail.com

Nudibranch molluscs of the *Eubranchus rupium-exiguus* species complex have similar external morphology. Based on the published data, it is impossible to conclude whether they are separate species or should be reduced to synonyms. The representatives of this complex show an amphiboreal distribution. Species with this type of distribution often represent complexes of cryptic or pseudo-cryptic species. It makes them an appropriate model to study modes of speciation in boreal and Arctic regions.

A total of 199 samples, collected from the White, Barents and Japanese Seas, and Norway were used to investigate species identity of studied groups and phylogenetic relationships between them. Integrative taxonomy approach was performed including molecular genetic methods (phylogenetic analysis using sequence COI, 16S and 18S as markers), haplotype networks and morphological analysis (specimen dissection, light and scanning electron microscopy).

Our analysis recovered *Eubranchus rupium* and *E. exiguus* as separate distinct species. They can be distinguished by coloration, radular and reproductive system morphology. Both are recovered as supported monophyletic clades in our phylogeny reconstruction. Additionally, we found two pseudocryptic species — one is sister species to *E. rupium* and another — to *E. exiguus*.

The *E. rupium* has a wide amphiboreal distribution with a break in the Arctic. A similar species was found in the Sea of Japan. This new species is 4.7% different from *E. rupium* in COI marker and is also characterized by the specific coloration.

The second pseudocryptic species, similar to *E. exiguus*, is found sympatrically with true *E. exiguus*. This new species is 11% different from *E. exiguus* in COI marker. Morphological differences are found in the coloration of individuals and the structure of the digestive gland enclosed in cerates.

The possible reason for this observed biodiversity pattern is the paleodynamics of the Bering Strait separating the water areas of the Pacific and Atlantic Oceans. *Eubranchus* taxonomy should be revised to accommodate these new findings, and two new species should be described.

*This study was supported by Russian Science Foundation, grant no. 20-74-10012.*

## Филогеография морских чертей *Limacina helicina* (Gastropoda: Pteropoda) из Арктических морей

Шапкина А. О.<sup>1,2\*</sup>, Абызова Г. А.<sup>2</sup>, Никитин М. А.<sup>3</sup>, Неретина Т. В.<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, лаборатория структуры и динамики планктонных сообществ, Москва

<sup>3</sup> Московский государственный университет, НИИ Физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского, Москва

<sup>4</sup> Московский государственный университет, ББС им. Н. А. Перцова, Москва

\* e-mail: anya.shapkina@gmail.com

Морские черти *Limacina helicina* (Gastropoda: Pteropoda) — важнейший источник пищи для многих планктонных животных, в том числе для рыбы, китов и птиц. Их биомасса в Арктических и Субарктических бассейнах иногда превышает биомассу копепод. Тело морских чертей покрыто раковинкой из карбоната кальция, что делает их популярным объектом для изучения процессов закисления океана и воздействия климатических изменений на морские экосистемы.

О генетической структуре *L. helicina* имеется крайне мало данных, в то время как исследования в данной области помогли бы разобраться в истории эволюции и расселения морских организмов. Известно, что в Арктике *L. helicina* присутствует в виде двух основных гаплогрупп, первая из которых (Н1) встречается повсеместно в Арктике и северной части Тихого океана, а вторая (Н2) была обнаружена только в Атлантическом секторе Арктики (у архипелага Шпицберген и в Карском море). Имеющиеся данные свидетельствуют о наличии в Восточной и Западной частях Арктики двух популяций, имеющих тихоокеанское и атлантическое происхождение, соответственно. В других морях Сибирской и Европейской Арктики, до настоящей работы исследований филогеографии *L. helicina* не проводилось.

Нами были получены и проанализированы последовательности митохондриального гена COI для особей *L. helicina* из пяти арктических морей: Восточно-Сибирского, Карского, моря Лаптевых, а также Белого и Баренцева морей.

Как и предполагалось, среди рассмотренных представителей *L. helicina* из Западной Арктики были обнаружены представители гаплогрупп Н1 и Н2, причем с приближением к Тихому океану процент генотипов из группы Н2 в каждом море становится ниже. Это позволяет сделать вывод о сходстве структуры популяций в море Лаптевых, Карском и Баренцевом морях, а также об их Атлантическом происхождении. В Восточно-Сибирском море, как и ожидалось, были обнаружены только представители гаплогруппы Н1, сходные с образцами из Тихого океана. Отсутствие в Восточно-Сибирском море группы Н2, массовой в Атлантическом секторе Арктики, указывает на постепенное заселение Сибирских морей представителями данной гаплогруппы.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-50-0029.*

## Phylogeography of marine butterflies *Limacina helicina* (Mollusca, Pteropoda) in Arctic seas

Shapkina A.<sup>1,2\*</sup>, Abyzova G.<sup>2</sup>, Nikitin M.<sup>3</sup>, Neretina T.<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Belozersky Institute for Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>4</sup> Pertsov White Sea Biological Station, Lomonosov Moscow State University

\* e-mail: anya.shapkina@gmail.com

Sea butterflies *Limacina helicina* (Gastropoda: Pteropoda) are shelled pelagic mollusks widespread in Arctic and Subarctic ecosystems and play an important role in trophic networks. Although population structure of *L. helicina* is understudied the species was shown to consist of two populations through all the Siberian Arctic seas. In this research, we analyze populations of some Arctic seas in order to clarify their biogeographic and evolutionary history.

## Микроскопическая анатомия плавающих и ползающих личинок Entoprocta на примере видов *Barentsia gracilis* (Sars, 1835) и *Loxosomella varians* Nielsen, 1964

Иванова О. В. \*, Борисанова А. О.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва  
\* e-mail: ivanova.olga.angel@gmail.com

Тип Entoprocta (= Kamptozoa) или Внутрипорошицевые — это группа с невыясненным филогенетическим положением. Родство с другими группами Spiralia сложно установить из-за нехватки полных и исчерпывающих описаний представителей группы, особенно их личиночных стадий, полученных современными методами. Новые данные по микроскопической анатомии позволят сравнить разные типы личинок внутрипорошицевых и сделать некие выводы об общем плане, что облегчит сравнение с другими таксонами. Целью данной работы являлось исследование и описание микроскопической анатомии личинок *Barentsia gracilis* (Sars, 1835) и *Loxosomella varians* Nielsen, 1964. Материал был собран на ББС им. Н. А. Перцова в августе 2018 и 2021 годов, зафиксирован для трансмиссионной электронной микроскопии (ТЕМ). Выводы данной работы сделаны на основе серийных ультратонких срезов с шагом между срезами в 5 мкм. Также производилась фиксация для иммуноцитохимии и конфокальной микроскопии с целью визуализации мышечной и нервной систем.

Для Entoprocta характерна трохофорная личинка. По литературным данным внутри типа различаются два типа строения личинок: плавающий и ползающий, представленные у видов *B. gracilis* и *L. varians*, соответственно. Мы показали, что покровы эписферы личинки представляют собой однослойный эпителий, покрытый мировиллярной кутикулой толщиной порядка 1 мкм. Кутикула состоит из трех слоев разной плотности и сходна по строению с кутикулой верхних зон чашечки взрослой особи. Для личинок обоих типов строения характерно наличие на эписфере апикального и фронтального ресничных сенсорных органов. Апикальный орган несет ресничный султанчик. Крупные клетки апикального органа имеют большие ядра и образуют скопление в эпидермисе эписферы. В основании скопления расположен нейропил. Фронтальный орган имеет аналогичное апикальному клеточное строение, он расположен также на эписфере, близко к прототроху. Прототрох расположен на крупной кольцевой складке, которая может сокращаться. Он представлен клетками, несущими многочисленные реснички, от которых отходят исчерченные корешки. Гипосфера покрыта тонким слоем волокнистого матрикса, пронизанным тонкими микроворсинками. На гипосфере расположены ресничные зоны, отвечающие за движение и питание. Эпидермис гипосферы личинки отчасти похож на эпидермис атриума и внутренней, ресничной, стороны щупалец взрослых особей. Внутреннее строение представлено U-образным сквозным пищеварительным трактом, состоящим, как и у взрослых животных, из пищевода, желудка, желудка и кишечника. На гипосфере открываются рот и анус, протоки выделительной системы и протоки желез. В эпидермисе встречаются миоэпителиальные клетки. Мускулатура полости тела представлена, в основном, структурами, отвечающими за артикуляцию сенсорных органов. У личинок имеется пара протонефридиев. Крупные клетки pedalной железы занимают большую часть тела личинки и несут веретеновидные электронно-плотные гранулы, либо везикулы со слизистым секретом. Полученные данные позволяют сравнивать строение личинок Entoprocta и других трохофорных животных, в первую очередь, Bryozoa и Annelida.

## Microscopic anatomy of swimming and creeping Entoprocta larvae: a case study of *Barentsia gracilis* (Sars, 1835) and *Loxosomella varians* Nielsen, 1964

Ivanova O. V. \*, Borisanova A.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow  
\* e-mail: ivanova.olga.angel@gmail.com

Phylum Entoprocta (= Kamptozoa) has an unclear phylogenetic position, mostly due to the lack of comprehensive descriptions, especially of their larval stages. New data on microscopic anatomy is required to compare different types of larvae and draw some conclusions about the general plan, which will facilitate comparison with other taxa.

## **Фуникулярные тела *Dendrobeatia fruticosa* (Bryozoa: Cheilostomata) как динамическая система**

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

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

\* e-mail: OdFael@gmail.com

Фуникулярные тела — уникальный симбионт-содержащий орган, обнаруженный в аутозооидах некоторых хейлостомных мшанок, и представленный двумя слоями клеток (внешних уплощенных и внутренних призматических), ограничивающих полость, в которой находится симбионт. Будучи связанными с фуникулярной системой колонии, фуникулярные тела (ФТ) обеспечивают питанием многочисленных бактерий, являясь для них инкубатором. Подобные структуры известны у ряда видов хейлостомат, однако об их сезонных и возрастных изменениях, осуществляющихся по мере роста колонии до сих пор почти ничего не известно. Мы приводим первое ультраструктурное описание подобных изменений, обнаруженных в ФТ у вида *Dendrobeatia fruticosa* из Белого моря.

Фуникулярные тела — функционирующие и не демонстрирующие морфологических отклонений от имеющихся в литературе описаний, обнаруживаются в зооидах в течение июня в наиболее апикальных участках колонии. Они заполнены многочисленными бактериями, а клетки внутреннего слоя стенки ФТ характеризуются хорошо развитым белок-синтезирующим аппаратом и многочисленными микровилями, располагающимися между симбионтами. В более базальных зооидах в ФТ зарегистрированы начальные этапы изменений: между двумя слоями клеток стенки появляется крупная межклеточная лакуна, содержащая фибриллярные и гранулярные частицы, а также электронно-плотные тельца. К августу большая часть бактерий лизируется, а оставшиеся находятся на периферии полости ФТ, ближе к сильно уплощающимся клеткам внутреннего слоя. Как и упомянутая выше лакуна, внутренняя полость ФТ содержит многочисленные фибриллы и гранулы, характеризующиеся довольно стабильными размерами. Межклеточное пространство (лакуна) становится объемнее, а концентрация тех же частиц в нем увеличивается. При этом фибриллярные элементы становятся заметны и внутри бактерий, а в конце августа они формируют в них сферические комплексы. В сентябре внутри ФТ бактерий практически не остается. Жидкость (и ее содержимое) в межклеточнике по своей электронной плотности сопоставимо с веществом внутренней полости, кроме того, сферические комплексы обнаруживаются в пространстве межклетника.

Единственное описание последовательных изменений ФТ опубликовано Люто (Lutaud 1965) у вида *Bugulina flabellata* из того же, что и исследованный нами вид, семейства Bugulidae. Тем не менее, данная работа выполнена на гистологическом уровне, и относительно мало информативна. Обнаруженные нами сферические комплексы отдаленно напоминают известные у одного из видов мшанок МАС-комплексы, что может подразумевать участие вирусных компонентов в исследуемой симбиотической системе.

*Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант 18-14-00086р).*

## **Funicular bodies in *Dendrobeatia fruticosa* (Bryozoa: Cheilostomata) as dynamic system**

*Bogdanov E., Vishnyakov A., Ostrovsky A.*

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

\* e-mail: OdFael@gmail.com

Here we describe for the first time the seasonal changes of the funicular bodies of cheilostome bryozoan *Dendrobeatia fruticosa* — unique temporary organs containing prokaryote symbionts. Ultrastructural studies showed that in June these organs play trophic function supporting development of large population of bacteria. In August both funicular bodies and bacteria show strong signs of degradation. Bacteria disappear in September.

## **Ранние этапы формирования плацентарного аналога у *Crisiella producta* (Bryozoa, Cyclostomata)**

*Власов Г. С. \*, Богданов Е. А., Островский А. Н.*

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

\* e-mail: gleb2k0@gmail.com

Отряд Cyclostomata — группа мшанок, характеризующаяся цилиндрическими аутозооидами. Их характерной особенностью также является полиэмбриония — формирование в полости гонозоида множества вторичных и даже третичных эмбрионов, образующихся за счет фрагментации единственного первичного эмбриона. Данное явление не встречается у прочих мшанок, и среди животных является редкостью. Развитие эмбрионов и, далее, личинок у циклостомат сопровождается матротрофным питанием за счет плацентарного аналога. Как матротрофия, так и плаценты известны у представителей многих групп многоклеточных, включая другие классы мшанок. Способ их образования у циклостомат, тем не менее, отличается от всех других. Плацента образуется из овария и мембранной сумки, которая исходно представляет собой гидростатический аппарат аутозооида. За счет неоднократно повторяющегося кариокинеза их клетки овария и мембранной сумки становятся многоядерными ценоцитами. В противоположность этому, в известных аналогах плацент других животных, как позвоночных, так и беспозвоночных, наблюдается синцитиальное строение. Хотя результат сходен, источник клеток и процессы, приводящие к образованию плаценты, являются уникальными для Cyclostomata. Ранние этапы формирования их плацентарного аналога исследованы, тем не менее, крайне недостаточно. Особенно интересным является выяснение степени участия и роли клеток разного происхождения в данном процессе. Наша работа нацелена на поиск ответов на эти вопросы при помощи методов трансмиссионной электронной микроскопии. Объектом исследования является вид *Crisiella producta*, колонии которого были собраны в непосредственной близости от Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ.

*Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант 18-14-00086р).*

## **Early stages in the formation of placental analogue in *Crisiella producta* (Bryozoa, Cyclostomata)**

*Vlasov G. \*, Bogdanov E., Ostrovsky A.*

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

\* e-mail: gleb2k0@gmail.com

Cyclostomes differ from all other bryozoans in possessing polyembryony that is accompanied by extraembryonic nutrition via placental analogue formed by multinucleated coenocytes. In contrast, the placental analogues in other animals, both vertebrates and invertebrates, have syncytial structure. Elucidation of the role of cells of different origin in the placenta formation is especially important and interesting. Our work is aimed at finding answers to these questions studying early stages placental development in *Crisiella producta* by the transmission electron microscopy.

## **Организация мускулатуры мантии брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Rhynchonelliformea: Rhynchonellida)**

*Ратновская А. В.*

Московский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

\* e-mail: belka190199@gmail.com

Брахиоподы — группа беспозвоночных животных, тело которых заключено в двустворчатую раковину. Раковину выстилает мантия, которая участвует в ее секреции. Строение мантии очень важно при исследовании брахиопод как для зоологов, так и для палеонтологов, поскольку раковина в ископаемом состоянии может сохранять отпечатки мягких тканей. В данной работе впервые изучено строение мускулатуры мантии беломорской брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Gmelin, 1791) методами трансмиссионной электронной микроскопии и иммуноцитохимии в сочетании с конфокальной микроскопией. Были изучены ювенили двух возрастов (стадия трохолофного и шизолофного лофофора) и взрослые особи. Мантия состоит из наружного и внутреннего эпителиев, между которыми располагается соединительная ткань. Было показано, что мускулатура мантии *H. psittacea* состоит из отростков мышечных клеток, тянущихся в продольном направлении от передней стенки тела до края мантии. Отростки мышечных клеток расположены в соединительной ткани мантии и могут быть собраны в пучки или располагаться по отдельности. Каждый мышечный отросток или пучок окружен базальной пластинкой, к которой прикрепляется гемидесмосомами. Рядом с мышечными отростками могут находиться клетки соединительной ткани, богатые включениями, которые, вероятно, выполняют функцию дополнительного питания мышечных клеток. Клетки мускулатуры имеют хорошо развитый гранулярный ЭПР, крупные митохондрии, ядро с ядрышком. Отростки мышечных клеток формируют гладкую мускулатуру мантии. Толстые миофиламенты имеют веретенообразную форму, поэтому на поперечном срезе каждого отростка мышечной клетки диаметр толстых миофиламентов варьирует: на срезах располагаются как более тонкие концевые участки толстого миофиламента, так и наиболее широкая средняя часть миофиламента. Максимальные значения диаметров толстых миофиламентов — 65 нм у ювенилей и 71 нм у взрослых. Такие значения позволяют предположить высокое содержание парамиозина в мышечных волокнах. Данные конфокальной микроскопии показывают, что у ювенильных особей к краю мантии подходят мышечные пучки, состоящие из 2–3 мышечных отростков, в то время как у взрослых особей у края мантии пучки распадаются на одиночные отростки мышечных клеток. Возможно, это связано с формированием мускулатуры мантии в процессе онтогенеза: во время роста брахиоподы мышечные пучки разветвляются, чтобы максимально заполнить пространство внутри соединительной ткани на периферии мантии. Продольная мускулатура мантии позволяет брахиоподам подворачивать край мантии с щетинками внутрь раковины, когда ее створки закрыты. Наличие парамиозина в гладких мантийных мышцах способствует удержанию мантии свернутой длительное время.

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

## **Mantle musculature organization 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 musculature in brachiopod *Hemithiris psittacea* from the White Sea was studied. The muscle cell processes run from anterior body wall to the mantle edge in longitudinal direction and are surrounded by basal lamina. Such organization is necessary to retract the mantle edge inside the valve.



## Investigation of limnoterrestrial tardigrade fauna of Spitsbergen using integrative taxonomy approach

Tsvetkova A. \*, Tumanov D.

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

\* e-mail: Larsi09@yandex.ru

Tardigrada is a phylum of microscopic animals that are known for their ability to withstand extreme conditions in cryptobiotic state. They inhabit a wide range of aquatic ecotopes, from abyssal oceanic depths to temporary microscopic pools in cushions of mosses and lichens.

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.

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.

Our work is devoted to the investigation of semiterrestrial tardigrade fauna of Spitsbergen. Samples were taken in Nordvest-Spitsbergen National Park and Nordenskiöld Land National Park, as well as in the vicinity of Longyearbyen settlement. Our methods include high resolution light microscopy (phase and differential interference contrast), scanning electron microscopy, and molecular taxonomy. This approach allows us to receive high quality morphological data to compare with previously published materials and to analyze phylogenetical relationships of discovered Tardigrada populations. We receive not only sequences of rapidly evolving COI and ITS-2 barcode genes, which are important to ascertain the relationships of closely related species, but also sequences of 18S and 28S rRNA genes, which, gives us a possibility to reconstruct deep phylogeny within Tardigrada. For example, newly obtained data helped to clarify the phylogenetic position of a rare arctic species *Diphascon tenue* and will lead to reassessment of the value of some morphological characters within the superfamily Hypsibiodea.

So far, we have found 24 Tardigrada species from 17 genera, which include 8 species that have not been previously recorded on Spitsbergen. Moreover, the genus *Microhypsibius*, as well as *Notahypsibius*, are new records for the area. A new species of the genus *Tenuibiotus* closely related to *Tenuibiotus voronkovi* (also described from Spitsbergen) is in the process of description.

**Прижизненные светомикроскопические наблюдения и тонкое строение споры *Metchnikovella* sp. (Opisthokonta: Microsporidia) — паразита грегариин *Lecudina* sp. из кишечника полихеты *Alitta virens***

Фролова Е. В.<sup>1,2\*</sup>, Камышацкая О. Г.<sup>1,2</sup>, Паскерова Г. Г.<sup>1</sup>, Смирнов А. В.<sup>1</sup>, Насонова Е. С.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Лаборатория цитологии одноклеточных организмов, Санкт-Петербург

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

*Metchnikovella* sp. относится к особой группе микроспоридий — мечниковеллидам, все представители которой паразитируют в грегариинах из кишечника морских беспозвоночных, то есть являются гиперпаразитами. Синапоморфным признаком микроспоридий является наличие в спорах особого аппарата инвазии. Споры мечниковеллид имеют более упрощенное строение, нежели споры типичных микроспоридий. Так, у мечниковеллид отсутствуют якорный диск, поляропласт, задняя вакуоль, а вместо канонической полярной нити, представляющей собой длинную и тонкую спирально уложенную трубку, они имеют короткий прямой и широкий манубриум. Для них характерно наличие двух типов спорогонии: ‘свободной’, когда споры формируются вне толстостенных оболочек, и цистообразующей, когда споры формируются внутри толстостенных «цист» (спорных мешков, spore sacs). Форма и размер цист, их морфологические особенности представляют собой видоспецифические признаки.

Полихеты *A. virens*, использованные для исследования, были собраны на каменисто-песчаной литорали о. Матренин в Кандалякшском заливе Белого моря в 2019–2021 гг. Из 61 вскрытой полихеты 23 особи были инфицированы грегариинами *Lecudina* sp. В девяти (14,8%) полихетах обнаружили лекудин с видимыми признаками заражения мечниковеллидами — характерными кластерами спор в цитоплазме. Лишь в одной полихете были обнаружены грегарины, имеющие не только свободные споры, но и зрелые цисты мечниковеллид. Цисты имели овальную форму, часто с изгибом стенки цисты, напоминающим талию, и одну выраженную полярную пробку. Размер цист варьировал в пределах 3,83–5,86 мкм в ширину и 8,79–12,24 мкм в длину. В одной цисте насчитывали до 11 спор размером 1,27–2,33 x 1,6–2,64 мкм. Округлые ‘свободные’ споры размером 1,29–2,09 x 1,6–2,5 мкм формировались в цитоплазме грегарины в вакуолях неизвестной природы, в каждой вакуоли насчитывали по несколько десятков спор.

На ультратонких срезах, сделанных в плоскости, проходящей вдоль длинной оси манубриума, форма свободных спор была двояковыпуклой, угловатой в верхней части. Размеры спор на срезах составляли 1,5–1,8 мкм в ширину и 1,3–1,6 мкм в длину. Отличительной особенностью спор этого вида является форма полярного сака, напоминающего на срезах бутылочную крышку. Бульбарное расширение находится в дистальной части манубриума. Ядро споры имеет характерную для микроспоридий рода *Metchnikovella* форму подковы.

Работа выполнена при поддержке РФФ — проект № 19-74-20136.

**Light-microscopic observations and fine structure of *Metchnikovella* sp. (Opisthokonta: Microsporidia) — a parasite of the gregarine *Lecudina* sp. from the gut of the polychaete *Alitta virens***

Frolova E.<sup>1,2\*</sup>, Kamyshatskaya O.<sup>1,2</sup>, Paskerova G.<sup>1</sup>, Smirnov A.<sup>1</sup>, Nassonova E.<sup>1,2</sup>

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

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

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

*Metchnikovella* sp. is a hyperparasitic microsporidium found in the White Sea. We provided a description of light-microscopic vital observations of the different stages of life cycle as well as data on the fine structure of free spores.

## Metazoan parasites of a few marine fish near White Sea Biological Station (Lomonosov MSU)

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

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

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

\* e-mail: andreylogv@yandex.ru

The parasite fauna of marine fish in the proximity of the White Sea Biological Station of the Lomonosov Moscow State University has been repeatedly studied by both employees and students of the station. However, accurate quantitative data on infection rates are not available in most published sources. This work is devoted to metazoan parasites (cestodes, digeneans, nematodes, acanthocephalans, leeches and copepods) of cod *Gadus morhua*, navaga *Eleginus nawaga* and shorthorn sculpin *Myoxocephalus scorpius*, caught in July–August 2021 in the shore area of the Velikaya Salma Straight. A total of 50 cods, 50 navagas and 21 sculpins were dissected using standard methods. Parasites were fixed in 4% formalin and 96% ethanol. Specimens for the genetic analysis were stored at –20°C. So far we have only preliminary results. Among digeneans the most common were *Lepidapedon elongatum* (prevalence in cod 74%, in navaga 54%), *Hemiurus levinseni* (prevalence in cod 80%, in navaga 18%, in shorthorn sculpin 76.2%) and *Proisorhynchus squamatus* (prevalence in shorthorn sculpin 90.5%). Among tapeworms, the most common were *Pyramicocephalus phocarum* (prevalence in cod 16%, in navaga 4%, in sculpin 14.3%) and *Bothriocephalus scorpii* (prevalence in shorthorn sculpin 81%). The most common acanthocephalan was *Echinorhynchus gadi* (prevalence in cod 74%, in navaga 46%, in shorthorn sculpin 9.5%). All fish specimens were infected with anisakids. Surprisingly, hirudineans were also present, which is quite interesting because we only found one record of sea leeches parasitizing fish in the White Sea. On the other hand, monogeneans that were multiply recorded before by many researchers were not found. Navaga and cod were studied in two time frames — from July 25 to August 15 and from August 16 to 30 — 25 individuals in each period. Prevalence of navaga with trematodes and acanthocephalans increased by 1.5–2 times in the second period, however, the intensity of the infection was lower by 50%. The prevalence with cestodes was four times lower in the second period: the prevalence with acanthocephalans decreased by 28% and the intensity decreased by 2 times. These values can either be a manifestation of the seasonal dynamics of infection, or a consequence of a small sample. Further processing of the material will provide a complete picture of the infection of the studied fish species.

## **Внешняя морфология, анатомия и внутривидовая изменчивость *Pseudanthobothrium hansenii* (Platyhelminthes, Cestoda)**

Харитонов Д. Э.

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: dimonha01@gmail.com

Паразиты пластиножаберных рыб представляют большой интерес для изучения, но, ввиду сложности сбора материала, на сегодняшний день многие аспекты их анатомии и экологии не раскрыты.

Ромбовидный скат *Amblyraja radiata* Donovan, 1808 — циркумполярный вид Северного полушария и единственный представитель скатов в Белом море. Ленточные черви (Platyhelminthes: Cestoda) составляют одну из типичных и многочисленных групп паразитов хрящевых рыб.

*Pseudanthobothrium hansenii* Baer, 1956 — единственный вид цестод, паразитирующий в скатах Белого моря. Многие особенности строения представителей беломорской популяции паразита не были изучены ранее, тем более с применением современных микроскопических методов.

Скаты собраны в районе Узкой Салмы (66°16'57.3"N 33°39'25.5"E) вблизи Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ в августе 2020 г. Паразитов извлекали из спирального клапана и кишки в физиологическом растворе и фиксировали в 4% PFA на морской воде, в 2,5% глутаровом альдегиде и 70% спирте.

Для изучения общей морфологии был применен широкий спектр методов, включающий световую микроскопию, сканирующую электронную микроскопию и конфокальную лазерную микроскопию.

Подготовленные пробы инкубировали в первичных антителах к серотонину,  $\alpha$ , $\beta$ -тубулину (Molecular Probes, USA; 1:1000) и FITC 488 (Termo Fisher Scientific, USA; 1:1000), и обрабатывали вторичными антителами Alexa Fluor 488 и Alexa Fluor 633 (Termo Fisher Scientific, USA; 1:1000).

Особенности общей анатомии установлены в том числе и с помощью тотальных препаратов, окрашенных квасцовым кармином. Поверхность тегумента различных отделов тела цестоды изучена методом сканирующей электронной микроскопии.

Филогенетическое положение и видовая принадлежность собранных *P. hansenii* определены с помощью молекулярно-филогенетических методик. Амплификация и секвенирование генов 18S рРНК производили с помощью праймеров WormA/WormB, гена 28S рРНК с LSU5/1500R и гена COX1 с использованием праймеров JB3/JB4.5.

Полученные на данный момент молекулярные данные подтвердили принадлежность собранных цестод к виду *P. hansenii*. В ходе исследования уточнено строение половой системы в зрелых члениках: отчетливо различим оотип, залегающий медиально кпереди от уровня верхнего края четырехлопастного яичника. Показано наличие пениса, вооруженного шипами. Впервые получены данные о топологии нервной системы паразита и организации мускулатуры мизоринхуса.

*Исследования проведены с использованием оборудования РЦ РМукТ Научного парка СПбГУ.*

## **Morphology, anatomy and intraspecific variation of *Pseudanthobothrium hansenii* (Platyhelminthes, Cestoda)**

Kharytonau D. E.

Saint Petersburg State University, Department of Invertebrates Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: dimonha01@gmail.com

We investigated special aspects of anatomy, morphology, and phylogeny of *Pseudanthobothrium hansenii* — the only known tapeworm parasite of chondrichthyan fish in White Sea, parasitizing rajid skate *Amblyraja radiata*.

## Экстенсивность инвазии мелких брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae* трематодами на разных субстратах на литорали Белого моря

Зенков Е. А.<sup>1</sup>, Зурахов М. Н.<sup>1</sup>, Аристов Д. А.<sup>1,2\*</sup>

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

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

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

*Peringia ulvae* — мелкий брюхоногий моллюск, который массово встречается на литорали Белого моря и выступает в качестве первого промежуточного хозяина для многих видов трематод. Известно, что среди прочего некоторые паразиты способны оказывать значительное влияние на хозяина, изменяя его поведение для более эффективной реализации собственного жизненного цикла. Обычно, особенно сильно это влияние проявляется на промежуточном хозяине в тех случаях, когда чтобы завершения цикла паразита необходимо, чтобы промежуточный хозяин был съеден окончательным.

Однако в случае с беломорскими *P. ulvae* большинство паразитов, использующих этот вид гастропод в качестве промежуточного хозяина не попадают в организм окончательного напрямую, путем поедания им этого моллюска (как правило, имеется еще второй промежуточный хозяин), хотя есть и исключения. К тому же это не означает, что поведение моллюска не может влиять на реализацию жизненного цикла трематоды опосредованно.

При этом для некоторых представителей семейства Microphallidae, использующих *P. ulvae* в качестве промежуточного хозяина, известна тенденция к тому, чтобы заставлять других гастропод оставаться на участках субстрата наиболее высоко расположенных в толще воды.

В ходе данного исследования мы пытаемся понять может ли паразит оказывать влияние на выбор субстрата зараженными особями. Для этого мы сравниваем экстенсивность инвазии (процент зараженных особей) моллюсков трематодами в качественных сборах, взятых с крупных камней, лежащих на литорали и с грунта в пределах того же участка литорали на островах Белого моря. Предполагается, что выбор субстрата моллюсками может быть продиктован наличием заражения. Также возможно, что различие в экстенсивности инвазии может быть связано с неравномерным распределением инвазионного начала на литорали.

## Prevalence of the trematode infestation of mud snails *Peringia ulvae* on different substrates at the White Sea intertidal

Zenkov E.<sup>1</sup>, Zurakhov M.<sup>1</sup>, Aristov D.<sup>1,2\*</sup>

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

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

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

We calculate the prevalence of trematode infestation of the mud snails *Peringia ulvae* among individuals found in the sediment and on the boulders at the littoral of several islands at the White Sea. We try to find out whether the intensity of trematode infestation differs among mollusks on these two types of substrates and to explain the obtained result. We speculate that the presence of the parasite may influence the clams' substrate selection behaviour.

## **Первая находка трематод (Digenea) в кишечнодышащих полухордовых**

*Белолобская К. И.<sup>1\*</sup>, Ежова О. В.<sup>1</sup>, Крупенко Д. Ю.<sup>2</sup>, Лукиных А. И.<sup>1</sup>, Малахов В. В.<sup>1</sup>*

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

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

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

До сих пор в кишечнодышащих (Enteropneusta) не были обнаружены столь распространенные паразиты как трематоды. Для кишечнодышащих из семейства Ptychoderidae были зафиксированы только случаи поражения копеподами и кокцидиями, а для представителей семейства Torquaratoridae — предположительные комменсальные бескишечные турбеллярии и копеподы. В 2016 году в Беринговом море в ходе 75-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев» были обнаружены кишечнодышащие, относящиеся к неопisanному роду семейства Torquaratoridae. В 2018 году несколько особей этих кишечнодышащих были собраны на склонах Массива Вулканологов с глубин 1370–2470 м с применением ТПА «Команч 18» в ходе 82-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев». При морфологическом исследовании этих торквараторид выяснилось, что животные поражены метацеркариями дигенетической трематоды. Метацеркарии были найдены на гистологических срезах исследуемой торквараториды. Это первый отмеченный случай трематодоза среди полухордовых. Нами было изучено гистологическими методами 7 экземпляров торквараториды (целиком или фрагментарно); трематоды были обнаружены в трех из них. Максимальное число метацеркарий, найденных в одном экземпляре хозяина, составляет 20. Метацеркарии зарегистрированы в целоме хоботка и воротника, а также в целоме бранхио-генитального отдела туловища. Однако наибольшее число паразитов обнаружено в гломерулозе торквараториды — сразу 11 особей в одном экземпляре хозяина. Прежде паразитирование каких-либо организмов в гломерулозе полухордовых не было описано. На основе морфологического и литературного анализа высказано предположение относительно систематической принадлежности найденной дигенетической трематоды к семействам Zoogonidae или Lepidapedidae, предложены варианты ее жизненного цикла и особенности размножения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ № 18-74-10025 и гранта РФФИ № 20-04-00909-а.*

## **First discovery of trematodes (Digenea) in Enteropneusta (Hemichordata)**

*Belolubskaya K. I.<sup>1\*</sup>, Ezhova O. V.<sup>1</sup>, Krupenko D. J.<sup>2</sup>, Lukinykh A. I.<sup>1</sup>, Malakhov V. V.<sup>1</sup>*

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

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

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

Trematodes from enteropneust hemichordates are described for the first time. The metacercariae are found in the coeloms of trunk, collar, and proboscis, and in the glomerulus of the deep-sea torquaratorid from the Bering Sea. Assumptions about the taxonomic affiliation of the detected trematode, and their life cycle are discussed.

## Строение и развитие цистофорных церкарий *Lecithaster salmonis*

Скобкина О. А. \*, Кремнев Г. А., Крупенко Д. Ю.

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

\* e-mail: levuyashyk@mail.ru

*Lecithaster salmonis* — это трематода из надсемейства Hemiuroidea. Для этих червей характерен триксенный жизненный цикл. В кишечнике рыбы паразитируют взрослые особи гермафродитного поколения — мариты. Первый промежуточный хозяин — гастроподы *Cryptonatica affinis*, в которых развиваются партениты и церкарии. Второй промежуточный хозяин — планктонный рачок, в нем формируются метацеркарии. Далее рачка съедает рыба и цикл замыкается.

Строение цистофорных церкарий позволяет преодолеть хитиновую кутикулу, что необходимо для заражения членистоногих животных. Церкарии *L. salmonis* развиваются из шарообразных эмбрионов, которые перетяжкой разделяются на две части: тело и хвост. Хвост формирует полую капсулу, на которой расположены два придатка — выводная трубка и нитевидный отросток. В ходе развития выводная трубка втягивается в капсулу, при этом клетки, составляющие хвост, частично дегенерируют, образуя прочную омертвевшую структуру. После выхода церкарии в воду, ее тело тоже помещается в капсулу через отверстие, которое плотно закрывается сфинктером. Заражение происходит пассивно — рачок пытается съесть церкарию, при этом сжимает капсулу. В ответ на давление выводная трубка быстро выворачивается, пробивая кутикулу передней кишки рачка, а тело церкарии проходит через нее и попадает в гемоцель.

Целью данного исследования было описание строения церкарий *L. salmonis* на разных этапах развития. Материал собран летом 2020–2021 г. в окрестностях УНБ «Беломорская» СПбГУ. Спороцисты и церкарии *L. salmonis* зафиксированы для дальнейшего исследования с помощью световой, электронной и конфокальной микроскопии.

В теле церкарии расположен головной ганглий и два продольных нервных ствола, в которых различимы тела трех серотонинэргических нейронов. Стволы соединяются с нервным кольцом, окружающим мочевой пузырь. Кроме того, неспецифически окрасились антителами к серотонину четыре ряда крупных железистых клеток (по пять в каждом ряду). Протонефридиальная система в теле церкарии включает толстостенный мочевой пузырек, четыре циртоцита и каналы, которые соединяют их. Мышечная система состоит из нескольких продольных мышечных лент и слоя кольцевых мышц. Обнаружены скопления клеток — зачатки будущих органов половой и пищеварительной систем. Хвостовая капсула двухслойная, наружный слой тонкий, а внутренний толстый. В капсуле обнаружены мышцы сфинктера, закрывающие вход в нее после втягивания церкарии, а также мышцы ретракторы и четыре циртоцита у развивающихся церкарий (после они дегенерируют).

На живых церкариях мы наблюдали процесс вворачивания при выходе в морскую воду. Тело церкарии втягивается в хвостовую капсулу мышцами-ретракторами, затем втягивается нитевидный отросток, после этого капсула набухает и становится шарообразной.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-74-10029, ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ, ресурсного центра Микроскопии и Микроанализа СПбГУ и Центра коллективного пользования «Таксон» ЗИИ РАН.

## Structure and development of cystophorous cercariae *Lecithaster salmonis*

Skobkina O., Kremnev G., Krupenko D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: levuyashyk@mail.ru

Cystophorous cercariae larvae are characteristic for the digenean superfamily Hemiuroidea. Their tail consists of a hollow caudal capsule, caudal process, and delivery tube. The structure of cystophorous cercariae of *Lecithaster salmonis* is described using SEM, TEM, light and confocal microscopy.

## Трематоды рода *Podocotyle* (Digenea: Opcoelidae) в прибрежных экосистемах Белого и Баренцева морей

Гублер А. Г. \*, Кремнев Г. А., Скобкина О. А., Урядова А. А., Крупенко Д. Ю.

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

Трематоды рода *Podocotyle* (сем. Opcoelidae) встречаются в рыбах разных семейств в арктобореальных регионах. Два широко распространенных вида — *P. atomon* и *P. reflexa* — некоторое время считались синонимичными, однако Койе (Køie, 1981) показала, что это самостоятельные виды с похожим ареалом, хотя экологически они разделяются: *P. atomon* в качестве первого промежуточного хозяина использует литоральных гастропод (*Littorina saxatilis*), а *P. reflexa* — сублиторальных (*Buccinum undatum*). Различить этих трематод можно по морфологическим признакам: форма тела, расстояние между присосками, размер семенников, расположение желточников. Однако такая диагностика затрудняется по целому ряду причин. Во-первых, *P. atomon* полиморфный вид и его мариты иногда могут быть похожи на марит *P. reflexa*. Во-вторых, большая часть признаков применима только для сравнения вполне развившихся марит. В-третьих, внешний вид червя может быть нарушен в результате фиксации. Наконец для того, чтобы изучить некоторые признаки, нужно подготовить окрашенные тотальные препараты.

Целью данной работы является попытка дифференцировать виды *P. atomon* и *P. reflexa*, а также их морфотипы, по нескольким молекулярным маркерам. Это позволит также уточнить имеющиеся данные по их жизненным циклам.

Материал был собран в районе Учебно-научной базы «Беломорская» СПбГУ и Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН (Кандалакшский залив Белого моря) в период с 2019 по 2021 гг., а также в окрестностях пос. Дальние Зеленцы (Баренцево море) в июле 2021 г. Мариты рода *Podocotyle* обнаружены в атлантической треске, европейском керчаке, европейской бельдюге, наваге, лиманде и речной камбале. Спороцисты сем. Opcoelidae найдены в трех видах брюхоногих моллюсков: *Littorina saxatilis*, *Lacuna vincta* и *Buccinum undatum*.

Для выделения ДНК спороцист брали целиком, а от взрослых марит отрезали часть ротовой присоски. ПЦР и последующее секвенирование проводилось для фрагмента 28S и ITS2 рДНК. Гологенофоры были окрашены квасцовым кармином, заключены на постоянные препараты и сфотографированы для дальнейшего проведения морфометрии. По обеим маркерным последовательностям образцы марит разделились на две группы, которые, по-видимому, соответствуют видам *P. atomon* и *P. reflexa*. Этим двум группам соответствовали образцы спороцист из *L. vincta* и *L. saxatilis*. Оказалось, что спороциста из *B. undatum* принадлежит другому роду опецелид — *Anomalotrema*. В дальнейшем планируется провести морфометрию марит, и включить больше образцов в молекулярно-генетический анализ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-74-10029 и ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ.

## Trematodes of the genus *Podocotyle* (Digenea: Opcoelidae) in the coastal ecosystems of the White and Barents Sea

Gubler A. G. \*, Kremnev G., Skobkina O., Uryadova A., Krupenko D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

Two species of the genus *Podocotyle* (Trematoda: Opcoelida) — *P. atomon* and *P. reflexa* — widely occur in arctic and boreal seas. It can be quite difficult to define these species through their morphology. The purpose of our study was to find genetic differences between *P. atomon* and *P. reflexa*.



## Что представители рода *Neophasis* (Digenea: Acanthocolpidae) могут рассказать о причинах возникновения вторично двуххозяиных жизненных циклов трематод?

Кремнев Г. А.<sup>1\*</sup>, Гончар А. Г.<sup>1,2</sup>, Крапивин В. А.<sup>1</sup>, Урядова А. А.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д. Ю.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

У трематод (Trematoda: Digenea) треххозяиные жизненные циклы могут вторично становиться двуххозяиными в результате выпадения из путей циркуляции паразитов второго промежуточного хозяина, роль которого берет на себя первый промежуточный хозяин — моллюск. Появление вторично двуххозяиных жизненных циклов связывают с обитанием в экстремальных условиях: наземно-воздушной среде, приливно-отливной зоне, местах с ярко выраженными сезонными перепадами температур. Однако справедливо ли такое обобщение для всех трематод?

Ответ может быть получен при изучении близких видов трематод с разной структурой жизненного цикла. Удобной моделью являются представители рода *Neophasis* (сем. Acanthocolpidae). Вид *N. anarrhichae* обладает вторично двуххозяиным жизненным циклом, его окончательным хозяином является полосатая зубатка, а единственным промежуточным — брюхоногий моллюск *Buccinum undatum*. Жизненный цикл *N. oculata* был описан в литературе как треххозяиный, однако сведения о спектре его промежуточных хозяев оказались ошибочны, что было показано нами ранее. Поэтому выявить причины возникновения вторично двуххозяиного жизненного цикла *N. anarrhichae* оказывается невозможным без переописания жизненного цикла *N. oculata*.

Потенциальные промежуточные и окончательные хозяева были отловлены в Кандалакшском и Онежском заливах Белого моря в 2018–2020 гг. Извлеченные из рыб и моллюсков стадии жизненного цикла паразитов были зафиксированы для последующего морфологического и молекулярно-генетического анализа.

Соответствие стадий, обнаруженных в промежуточных хозяевах, маритам *N. oculata* и *N. anarrhichae* было установлено с помощью двух ядерных маркеров (ITS1, 5.8S-ITS2 рДНК) и митохондриального гена COX1. Мы показали, что первым промежуточным хозяином *N. oculata* являются брюхоногие моллюски из сем. Buccinidae (*Neptunea despecta*, *B. undatum*) и подтвердили, что вторым промежуточным и окончательным хозяином этого вида может выступать европейский керчак. Имевшаяся в литературе реконструкция двуххозяиного жизненного цикла *N. anarrhichae* была верифицирована и дополнена новыми данными о развитии материнских партеногенетических поколений. Церкарии *N. anarrhichae* неспособны осуществлять трансмиссию во внешней среде, на что указывает потеря мукоидных цитонов и слабое развитие глаз. Они без инцистирования развиваются в метацеркарий, которые могут завершать свое развитие и начинать яйцепродукцию, все еще находясь в первом промежуточном хозяине.

Полученные результаты свидетельствуют, что появление вторично двуххозяиного жизненного цикла *N. anarrhichae* не является примером адаптации к экстремальным условиям обитания. По-видимому, его возникновение связано с приобретением непрерывного онтогенеза у гермафродитного поколения предковой формы, который, скорее всего, сформировался в ответ на интенсивные взаимоотношения «хищник-жертва» между полосатой зубаткой и обыкновенным букцинумом, то есть было обусловлено скорее биотическим, нежели абиотическим фактором.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-74-10029, ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ, ресурсного центра Микроскопии и Микроанализа СПбГУ и Центра коллективного пользования «Таксон» ЗИН РАН.

## Representatives of *Neophasis* spp. (Acanthocolpidae) as a model for understanding causes of life cycle truncation in Digenea

Kremnev G.<sup>1\*</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Krapivin V.<sup>1</sup>, Uryadova A.<sup>1</sup>, Mirolubov A.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

We redescribed the life cycle of *Neophasis oculata* and verified the life cycle of *N. anarrhichae*. We suggest that life cycle truncation in *N. anarrhichae* was initiated by an acquisition of continuous morphogenesis in the hermaphroditic generation and supported by a strong prey-predator relationship between Atlantic wolffish and common whelk.

## Последствия заражения трематодами на метаболомном и транскриптомном уровне в системе хозяин–паразит «моллюски *Littorina*–партениты трематод *Microphallus* spp.»

Павлова П. А.<sup>1\*</sup>, Репкин Е. А.<sup>1</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Панова М. В.<sup>1,2</sup>, Варфоломеева М. А.<sup>1</sup>, Данилов Л. Г.<sup>1</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Кафедра Зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> University of Gothenburg, Department of Marine Sciences, Gothenburg, Sweden

\* e-mail: pollypavlova98@gmail.com

Изучение паразито-хозяйинных взаимоотношений на различных уровнях (геномном, транскриптомном, протеомном, метаболомном) — одна из важных задач паразитологии, поскольку данные исследования способствуют выявлению конкретных молекулярных механизмов взаимодействий в системах паразит-хозяин. Влияние паразита на физиологию хозяина многогранно: например, при заражении трематодами у хозяев-моллюсков может происходить изменение поведения и морфологии, утрачивается способность к размножению, меняются различные аспекты пластического и энергетического обмена. Наше исследование нацелено на анализ физиологических явлений, происходящих в организме моллюсков-литорин (*Gastropoda*, *Littorina*) в связи с заражением трематодами рода *Microphallus*, на транскриптомном и метаболомном уровнях.

Транскриптомный анализ показывает, что уровни экспрессии у зараженных паразитами моллюсков характеризуется более высоким уровнем дисперсии. Для анализа дифференциально экспрессирующихся транскриптов методом sPLS-DA было отобрано 20 транскриптов, оказывающих наибольшее влияние на различия в транскриптомах зараженных и незараженных моллюсков. Среди аннотированных транскриптов оказалось несколько, кодирующих белки, функция которых связана с трансляцией и созреванием белков, формированием рибосом, ядерно-цитоплазматическим транспортом и репарацией ДНК. Это может указывать на глубокие функциональные изменения в организме зараженного моллюска. Кроме того, у зараженных особей показано увеличение уровня экспрессии гена эндохитиназа-А-подобного фермента, вероятно, вовлеченного в процессы биоминерализации и синтеза раковины; а также уровня экспрессии гена сульфотрансферазы, отвечающей в том числе за сульфатирование половых гормонов.

Результаты метаболомного анализа также демонстрируют большее разнообразие метаболитов, синтезируемых в тканях зараженных особей (что хорошо согласуется с данными транскриптомики). Среди метаболитов, обилие которых наиболее сильно отличает здоровых и зараженных литорин, можно выделить свободные аминокислоты (валин, пролин, метионин и др.), свободные жирные кислоты, базовые участники аэробного и анаэробного обмена (лактат, малат, сукцинат). Также стоит отметить снижение уровня стерола (возможного предшественника половых гормонов) у зараженных особей, что может быть связано с активностью упомянутых выше сульфотрансфераз и/или явлением паразитарной кастрации.

Таким образом, наше исследование демонстрирует значительные изменения в организме инфицированных моллюсков на транскриптомном и метаболомном уровнях, затрагивающие в первую очередь элементы аэробного и анаэробного метаболизма, метаболизма аминокислот, синтеза раковины, а также, по всей видимости, гормональный фон в тканях.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 19-04-00392 с использованием оборудования Кафедры Зоологии беспозвоночных СПбГУ и РЦ РМиКТ СПбГУ.

## Consequences of infection with trematodes at the metabolomic and transcriptomic levels in the host-parasite system “periwinkles *Littorina* spp. — digeneans *Microphallus* spp.”

Pavlova P. A.<sup>1\*</sup>, Repkin E. A.<sup>1</sup>, Maltseva A. L.<sup>1</sup>, Panova M. V.<sup>1,2</sup>, Varfolomeeva M. A.<sup>1</sup>, Danilov L. G.<sup>1</sup>, Granovitch A. I.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Department of Marine Sciences, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden

\* e-mail: pollypavlova98@gmail.com

In this work, we analyzed the transcriptome and metabolome of periwinkles of the genus *Littorina*, healthy or infected with digeneans. Large-scale changes in the physiology of infected hosts at both the transcriptomic and metabolomic levels have been shown. The changes affect primarily the processes of catabolism and anabolism, as well as the level of sex hormones in the tissues of the mollusks.

## Нет времени расслабляться: инвазионная способность разновозрастных церкарий в условиях субарктической литорали

Федоров Д. Д.<sup>1,2\*</sup>, Николаев К. Е.<sup>2</sup>, Виноградова А. А.<sup>1,2</sup>, Левакин И. А.<sup>2</sup>, Галактионов К. В.<sup>2,3</sup>

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

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

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

\* e-mail: leeroy.1996@mail.ru

Проведено экспериментальное исследование инвазионной способности разновозрастных церкарий двух видов трематод *Himastla elongata* (Himasthidae) и *Cercaria parvicaudata* (Rencolidae) по отношению ко второму промежуточному хозяину — мидии (*Mytilus edulis*). Актуальность настоящей работы связана с тем, что для ряда видов трематод, в особенности представителей сем. Echinostomatidae, циркулирующих в пресноводных экосистемах показано, что церкарии в первые часы жизни (1–3) фактически не способны к заражению второго промежуточного хозяина. В то же время для трематод морских прибрежных экосистем таких исследований не проводилось. Кроме того, исследованный нами представитель сем. Himasthinae — *H. elongata* близок к эхиностоматидам и ранее включался в состав этого семейства. В результате выполненного нами эксперимента по заражению моллюсков церкариями *H. elongata* и *C. parvicaudata* срок жизни которых составлял от 0,5 до 6 часов, было показано, что личинки этих видов успешно заражают второго промежуточного хозяина сразу после выхода и на протяжении 6 часов их инвазионная способность не меняется (ANOVA; *H. elongata*:  $F = 1,053$ ,  $df = 8$ ,  $p < 0,4$ ; *C. parvicaudata*:  $F = 2,046$ ,  $df = 8$ ,  $p < 0,06$ ). Вероятнее всего отсутствие периода «покоя» (неспособности заразить хозяина), отмеченного для пресноводных экосистем связано с нестабильностью условий в литоральной зоне, где вследствие ряда абиотических факторов (волновое воздействие, приливно-отливные течения) возможна быстрая элиминация церкарий из зоны контакта с хозяином. В то же время в пресноводных экосистемах период «покоя» способствует более успешной дисперсии личинок в пространстве за счет собственной двигательной активности, в то время как в условиях литорали дисперсия церкарий по всей видимости осуществляется за счет гидродинамической активности.

Проект выполняется при поддержке РФФ № 18-14-00170.

## No time to relax: the infection capacity of cercariae in sub-arctic littoral conditions

Fedorov D.<sup>1,2\*</sup>, Nikolaev K.<sup>2</sup>, Vinogradova A.<sup>1,2</sup>, Levakin I.<sup>2</sup>, Galaktionov K.<sup>2,3</sup>

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

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

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

\* e-mail: leeroy.1996@mail.ru

We carried out an experimental study on the ability of cercariae of different age belonging to two trematode species, *Himastla elongata* and *Cercaria parvicaudata*, to infect a second intermediate host, the mussel (*Mytilus edulis*). We have shown that the larvae of these species successfully infect mussels immediately after release, and their infection capacity does not change for 6 hours.

## **Мышечная система корнеголового ракообразного с модульной организацией интерны *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)**

Арбузова Н. А.<sup>1,2\*</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1,2</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Ласкова Е. П.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: arbuzovanata0211@gmail.com

Rhizocephala — группа перешедших к паразитическому образу жизни ракообразных, специализированных настолько, что взрослые организмы утратили все черты сходства со свободноживущими родственниками.

Тело взрослой самки подразделяется на два функциональных отдела: мешковидную экстерну, содержащую репродуктивную систему паразита, и интерну — систему ветвящихся столонов, лежащих в гемоцеле хозяина. В ходе жизненного цикла паразитическая взрослая самка не наследует каких-либо органов от свободноживущей личинки. Все ее тело формируется de novo, в том числе и специфическая мышечная система.

К настоящему моменту была описана мышечная система у представителей трех семейств: Peltogasteridae, Sacculinidae и Polyascidae. Целью данной работы были визуализация и описание мышечной системы *Peltogasterella gracilis* (сем. Peltogasterellidae) с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии.

В отличие от ранее описанных видов, *P. gracilis* имеет выраженную модульную организацию интерны. В абдомене хозяина лежат многочисленные модули. Каждый модуль несет экстерну. Она связана с главным столоном, несущим множество боковых выростов, и приводящим столоном, соединяющим экстерну с общей частью интерны. Также можно отдельно выделить зону, в которой сходятся приводящий и главный столоны и стебелек экстерны. В тораксе и части абдомена хозяина лежит общая часть интерны, не принадлежащая ни одному модулю и объединяющая их между собой.

Мышечные волокна в интерне расположены в стенке столона, часть из них идет от поверхности столона к центральному каналу, часть параллельна стенке столона. Мышечная система в интерне *P. gracilis* различается в разных ее частях. Так, в общей части интерны располагаются отдельные мышечные волокна, не образующие единую сеть. В приводящем столоне модуля количество самих мышечных волокон увеличивается, также между ними появляются более частые анастомозы. В главном столоне тоже было обнаружено большое количество анастомозов между волокнами. Также было отмечено, что количество мышц, идущих к центру столона, здесь заметно больше. Кроме того, мышечные волокна заходят довольно далеко в боковые ветви главного столона, чего не отмечалось для представителей сем. Peltogasteridae. В некоторых особях мышечной системы в главном столоне не обнаруживалось вовсе. Возможно, степень развития мышечной системы в модулях коррелирует с возрастом самого модуля и степенью развития его экстерны.

В стебельке экстерны мышечная система представлена спиралью из мышечных волокон, которые затем переходят в мускулатуру самой экстерны. Мускулатура экстерны представлена отдельными мышцами, проходящими через висцеральную массу, представляющую собой совокупность органов экстерны, а также кольцевыми волокнами в мантии, окружающей висцеральную массу.

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

## **Muscular system of *Peltogasterella gracilis* — a rhizocephalan with the modular organization of interna**

Arbuzova N.<sup>1,2\*</sup>, Lianguzova A.<sup>1,2</sup>, Lapshin N.<sup>1</sup>, Laskova E.<sup>1</sup>, Mirolubov A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

\* e-mail: arbuzovanata0211@gmail.com

*Peltogasterella gracilis* (Rhizocephala: Peltogasterellidae) has modular type organization of interna in contrast to previously described species. Because of that, its muscular system is heterogeneous along the interna and is more complex compared with previously described species. We believe it's due to different functional loads of distinct interna parts.

## **Интеграция в нервную систему хозяина и структура интерны представителя паразитических ракообразных *Lernaeodiscus rybakovi* (Cirripedia: Rhizocephala)**

Лапшин Н. Е.<sup>1\*</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1,2</sup>, Арбузова Н. А.<sup>1,2</sup>, Ласкова Е. П.<sup>1</sup>, Еньшина И. К.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория по изучению паразитических червей и протистов Санкт-Петербург  
\* e-mail: lapshin-nikita@mail.ru

Корнеголовые ракообразные — паразитические представители группы Cirripedia. Тело взрослой особи крайне модифицировано и представляет из себя сеть столонов, залегающих в гемоцеле хозяев — интерну. Хозяева корнеголовых раков — другие ракообразные — теряют репродуктивную функцию, а также изменяют свое поведение под воздействием данных паразитов. Поэтому изучение ризоцефал представляет особый интерес. При изучении строения интерны представителей семейств Peltogastridae, Peltogasterellidae, Sacculinidae было обнаружено, что столоны паразита способны проникать в ганглии хозяев, а на концах таких столонов располагаются специализированные бокаловидные органы. За последние полтора года нам удалось получить новые данные по виду *Lernaeodiscus rybakovi* (сем. Peltogastridae), который ранее был относительно слабо изучен.

В ходе выполнения данной работы нам удалось установить, что столоны *L. rybakovi* так же, как и столоны ранее исследованных представителей корнеголовых, способны проникать под оболочку ганглия своего хозяина, веерного краба (*Pachycheles stevensii*). На конце столонов, ассоциированных с ганглиями хозяина, были обнаружены бокаловидные органы двух разных типов. Бокаловидные органы первого типа целиком залегают в толще нервной ткани хозяина, в то время как бокаловидные органы второго типа лишь нарушают целостность оболочки ганглия. Помимо этого, были обнаружены столоны паразита, располагающиеся в нервных тяжах хозяина. К тому же было подтверждено, что трофические столоны *L. rybakovi*, как и столоны ранее описанных видов, оплетены сетью нервных клеток хозяина. Помимо вышеперечисленных сайтов взаимодействия с нервной системой были описаны ранее неизвестные детали строения интерны. Так, был обнаружен центральный элемент интерны — «главный столон», который ранее никогда не упоминался в литературе. Главный столон *L. rybakovi* отходит от стебелька экстерны в абдомене и продолжается на небольшое расстояние в торакс хозяина. На всем протяжении от него отходят периферические выросты.

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

## **Integration of parasitic crustaceans into the host nervous system and rootlets ultrastructure of *Lernaeodiscus rybakovi* (Cirripedia: Rhizocephala)**

Lapshin N.<sup>1\*</sup>, Lianguzova A.<sup>1,2</sup>, Arbuzova N.<sup>1,2</sup>, Laskova E.<sup>1</sup>, Enshina I.<sup>1</sup>, Miroliubov A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

\* e-mail: lapshin-nikita@mail.ru

The aim of this study was to investigate the morphology of rootlets of *Lernaeodiscus rybakovi*, associated with the ganglia of the host's ventral nerve cord. During the study we have found modified rootlets. Meanwhile we confirmed that trophic rootlets were enlaced by a host nervous cell. Also, we discovered the main trunk of *L. rybakovi*, which had never been described earlier.

## Body snatchers that cause split consciousness in crabs: two parasitic barnacles in the nervous system of one host

Lianguzova A.<sup>1,2\*</sup>, Laskova E.<sup>1</sup>, Arbuzova N.<sup>1,2</sup>, Lapshin N.<sup>1</sup>, Mirolubov A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg

\* e-mail: reinhardtlennon@gmail.com

Parasitic manipulation is a widespread phenomenon in different host-parasite systems. In some cases, parasites literally hijack the behavior of their host, altering the molecular pathways of the host's immune and nervous systems. The most striking example of the host manipulation is found among rhizocephalan barnacles (Cirripedia: Rhizocephala). They are highly modified and specialized parasites of other crustaceans. The body of an adult rhizocephalan female comprises two distinct parts: an externa (external reproductive body) and an interna (system of trophic ramifying rootlets located in the host's hemocoel). The rootlets of the interna carry out trophic function absorbing the nutrients from the haemocoel. They also interact directly with the host nervous system. Some rootlets invade the host's ganglia and form goblet-shaped organs at the ganglion periphery. However, the exact mechanisms of this host-parasite interplay are not well-studied. Moreover, there has been no information on the double infection of host by distinct rhizocephalan species until recently, and our aim was to describe such a system.

In the Sea of Japan, the species described as *Sacculina pilosella* was known to parasitize the spider crab *Pugettia aff. ferox*. A recent publication by Golubinskaya et al. (2021) reveals that this host can be infested by two different parasites, *S. pugettiae* (fam. Sacculinidae) and *Parasacculina pilosella* (fam. Polyascidae). Typically, a host is infected by only one parasite specimen; however, these two rhizocephalan species can infect one host at the same time. The species *S. pugettiae* and *P. pilosella* are very similar: only minor differences have been described in the externa morphology. Surprisingly, we have found a significant differences in the interna structure that was never thought to have phylogenetically important features. These differences concern the structures involved in the interplay between the crab's nervous system and the rhizocephalan's rootlets. In *S. pugettiae* we have identified the goblet-shaped organs. On the contrary, *P. pilosella* has numerous thin rootlets inside the host's nervous tissue that can be distinguished from the trophic ones, but they never form goblet-shaped organs, like in *S. pugettiae*.

Our study provides the first example of the rhizocephalan double infestation in one host. This is particularly intriguing in light of the host manipulation induced by these parasites. How do these species co-exist in one host? How did this host-parasite system evolve? What happens with the consciousness of the crab in case of a double infection? All of these questions remain enigmatic.

*The study was funded by the RSF № 21-74-00018.*