

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



# Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ— 2020

*Тезисы докладов*

Санкт-Петербург

2020

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*

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

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

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

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

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

*А. Г. Гончар, ассистент кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ*

**Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2020. Тезисы докладов.** — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2020. — 98 с.

ISBN 978-5-4386-1847-8

В сборнике представлены материалы докладов, представленных на конференции «Беломорская студенческая научная сессия СПбГУ — 2020» (6–7 февраля 2020 г., Санкт-Петербург). Ставшее уже традиционным мероприятие объединяет молодых исследователей, чьи исследования связаны с Арктическим регионом. Основные акценты работы конференции остаются прежними: поддержка междисциплинарности, создание условий для взаимодействия студентов со старшими коллегами и потенциальными работодателями, поддержка мотивирующей и дружественной атмосферы в профессиональном сообществе исследователей Арктики. За счет расширения программы тезисы постерных докладов сгруппированы в пять тематических разделов: (1) экология; (2) океанология, геохимия и почвоведение; (3) эмбриология и молекулярная биология; (4) паразитология; и (5) зоология. Еще один раздел включает тезисы устных докладов, подготовленных студентами и приглашенными экспертами. Важное нововведение — двуязычный формат сборника как шаг на пути интеграции в международную программу научной работы в высоких широтах. Участники представляют более 20-ти организаций (вузы, научные институты, заповедники, учреждения дополнительного образования) из разных городов России.

Конференция проходила при поддержке Ассоциации выпускников СПбГУ и Центра морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова.



АССОЦИАЦИЯ  
ВЫПУСКНИКОВ  
СПбГУ



ЦМИ  
МГУ

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Горяшко А. А.</i> История биологических станций Белого и Баренцева моря.....	9
<i>Полоскин А. В., Аристов Д. А., Хайтов В. М.</i> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии) — 55 лет работы на Белом море.....	10
<i>Витченко Т. В.</i> Фитопланктон арктических морей России и методы его исследования в рамках комплексного экологического мониторинга .....	11
<i>Коссова С. А., Дубинина Е. О., Мирошников А. Ю.</i> Механизмы опреснения морских вод в заливах Цивольки и Седова (Новая Земля) по изотопным ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ ) данным .....	12
<i>Krylov A. A.</i> Mechanisms of authigenic carbonates crystallization in the environments related to hydrocarbons generation/oxidation .....	13
<i>Шаповалов С. Н.</i> Космогеофизические эффекты в показателях <i>in vivo</i> — <i>in vitro</i> .....	14
<i>Корсун С. А., Голикова Е. А.</i> Биомониторинг морской среды по фораминиферам.....	15
<i>Аристов Д. А.</i> <i>Atauropsis islandica</i> : от дырявых ракушек к роли хищника на литорали .....	16
<i>Petrulina A. S.</i> Ten years of research of the Tantulocarida — enigmatic parasites from the White Sea.....	17
<i>Скучас П. П.</i> Полярные динозавровые фауны России.....	18

### УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

<i>Ильюшин В. А.</i> Динамика комплексов микромицетов в процессе зарастания породных отвалов угольных шахт архипелага Шпицберген .....	19
<i>Желудкова А. И.</i> Использование этологических методов при изучении поведения белухи ( <i>Delphinapterus leucas</i> ) .....	20
<i>Кремнев Г. А., Гончар А. Г., Крапивин В. А., Крупенко Д. Ю.</i> От рыб к морским млекопитающим, или куда нас привело изучение жизненного цикла трематоды <i>Neorhaxis oculata</i> (Trematoda: Digenea) .....	21
<i>Маховиков А. Д., Смагин Р. Е., Иванов М. В.</i> Особенности летнего гидрологического режима пролива Сухая Салма Белого моря .....	22
<i>Тылец М. И., Шапошникова Т. Г., Адонин Л. С., Миттенберг А. Г., Шабельников С. В., Даугавет М. А.</i> Описание новых белков асцидий, участвующих в формировании внеклеточного матрикса туники .....	23

Шалаева А. Ю., Козин В. В. Активность FGF-сигналинга при регенерации <i>Alitta virens</i> .....	24
Kondakova E., Ivanov M., Ivanova T., Smirnova K., Lajus D. Some aspects of the normal embryonic development of threespine stickleback <i>Gasterosteus aculeatus</i> .....	25
Лисицына К. Н., Филиппова Н. А., Никишина Д. В., Шунатова Н. Н., Кийко О. А., Герасимова А. В., Максимович Н. В. О стабильности структуры макробентоса в юго-западной части Карского моря .....	26
Баранов И. А., Лунина О. Н., Груздев Д. С., Ранчин В. А., Краснова Е. Д., Кокрятская Н. М., Веслополова Е. Ф. Фототрофные серобактерии оз. Большие Хрусломены (о. Олений, залив Ковда, Белое море) .....	27
Богданов Е. А., Вишняков А. Э., Островский А. Н. Ультраструктура фуникулярных тел с симбионтами у мшанки <i>Dendrobeatia fruticosa</i> (Cheilostomata) ....	28
Чихун А. О., Мирюлюбов А. А., Екимова И. А. Общая и микроскопическая анатомия кнidosаков <i>Coryphella verrucosa</i> (M. Sars, 1829) (Gastropoda: Nudibranchia) .....	29
Лянгузова А. Д., Илюткин С. А., Лапшин Н. Е., Арбузова Н. А., Нестеренко М. А., Мирюлюбов А. А. Особенности взаимодействия <i>Sacculina pilosella</i> (Cirripedia: Rhizocephala) с нервной системой хозяина .....	30
Алексеева Н. В., Демидов Д. А. Личинки <i>Nymphon grossipes</i> : взгляд изнутри (Chelicerata: Pycnogonida) .....	31

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### ЭКОЛОГИЯ

Осипова Д. Д., Кокорин А. И., Мельников Н. П., Пименов Т. П., Кудрявкина А. И., Маргарит А. А., Ратновская А. В., Федоров Д. А., Белоусова Е. В., Батрина Д. А., Дгебуадзе П. Ю., Цетлин А. Б. Методическая точность и воспроизводимость бентосных исследований в проливе Великая Салма в 2016 и 2019 гг. ....	32
Лукина Е. Г., Ильюшин В. А. Разнообразие микроскопических грибов, колонизаторов древесины, в Арктике (на примере арх. Шпицберген) .....	33
Ivankovich Yu. V., Martynova D. M. Response of planktonic copepods to salinity change in acute and chronic experiments .....	34
Громова А. Д., Стогов И. А., Мовчан Е. А., Стрелков П. П. Суточная динамика вертикального распределения зоопланктона оз. Могильное (о. Кильдин, Баренцево море) .....	35
Булавинова В. И., Унтилова А. А., Дюмина А. В. Изучение структуры литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ Баренцева моря .....	36
Надточий Е. В., Смирнова К. А., Зеленская А. Е., Иванов М. В., Иванова Т. С., Лайус Д. Л. Сообщества прибрежных рыб Кандалакшского залива Белого моря в разных биотопах .....	37
Смирнова К. А., Надточий Е. В., Зеленская А. Е., Демчук А. С., Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л. Питание беломорской сельди ( <i>Clupea pallasii marisalbi</i> ) в летний период .....	38

<i>Савельев П. Д., Паницина В. А., Генельт-Яновский Е. А., Иванов М. В.</i> Динамика численности трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> на нерестилищах.....	39
<i>Dorgham A. S., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Yurtseva A., Lajus D. L.</i> Sexual dimorphism of threespine stickleback of the Keret archipelago (White Sea) in external morphological characters.....	40
<i>Rogozhkina S. P., Ivanova T. S., Smirnova K. A., Ivanov M. V., Lajus D. L.</i> Age structure of the threespine stickleback <i>Gasterosteus aculeatus</i> on spawning grounds of the Kandalaksha Bay of the White Sea .....	41
<i>Овчаренко Е. А., Назарова С. А.</i> Изменчивость роста и формы раковины сердцевидки съедобной <i>Cerastoderma edule</i> (Linnaeus, 1758) в северной части ареала .....	42
<i>Манойлина П. А., Халаман В. В.</i> Ассоциированная фауна мидиевого сообщества обрастания в Белом море.....	43
<i>Марченко Ю. Т., Хайтов В. М., Католикова М. В., Стрелков П. П.</i> Оценка простого морфологического маркера для идентификации гибридирующих мидий <i>Mytilus edulis</i> L. и <i>M. trossulus</i> Gould .....	44
<i>Хайтов В. М., Нематова Р. Б., Евдокимова А. И.</i> Star Wars and Angry Birds: морские звезды и кулики-сороки регулируют структуру смешанных поселений <i>Mytilus edulis</i> и <i>M. trossulus</i> в Белом море .....	45
<i>Павлова П. А., Мальцева А. Л., Варфоломеева М. А., Бабкина И. Ю., Гранович А. И.</i> Влияние условий обитания на метаболизм моллюсков рода <i>Littorina</i> .....	46
<i>Варфоломеева М. А., Бабкина И. Ю., Соколовский Н.-М. А., Мальцева А. Л., Куршева А. В., Моргунова И. П., Гранович А. И.</i> Воздействие антропогенного загрязнения на эффективность размножения литоральных моллюсков <i>Littorina saxatilis</i> (Olivé, 1792) арктических побережий.....	47
<i>Voltski I.</i> Inner shelf benthic foraminifera in the marginal arctic seas of Eurasia: new and poorly known lineages.....	48
<i>Князева О. В.</i> Цитология высокоширотных фораминифер: от сезона к сезону .....	49
<b>ОКЕАНОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ</b>	
<i>Переверзев Р. А., Дубинина Е. О., Коссова С. А.</i> Изотопный состав водорода вод реки Енисей, поступающих в Карское море .....	50
<i>Киракосян Д. В.</i> Изотопный состав водорода и кислорода вод Восточно-Сибирского моря в зоне влияния реки Индиگیری .....	51
<i>Поляков В. И.</i> Молекулярный состав гуминовых кислот почв Российской Арктики .....	52
<i>Миценко А. В., Тимофеева А. Б., Павлова Е. А., Шаратунова М. В., Хотченков С. В., Егорова Е. С.</i> Основные тенденции изменения ледовых условий российских арктических морей за последнее десятилетие .....	53

<i>Новоселова Е. В., Кузнецова Д. А., Петросян Н. В., Смагин Р. Е.</i> Опыт измерения первичной продукции в проливе Средняя Салма Белого моря .....	54
<i>Ladanova V., Chetverova A.</i> Hydrochemical characteristic of the Keret river estuary .....	55
<i>Яковлева Д. А., Малышева А. А., Новоселова Е. В., Петросян Н. В., Колдунов А. В.</i> Межгодовая изменчивость желтого вещества в устье реки Кереть .....	56
<i>Мамаджанян А. Г., Фролова А. В., Смагин Р. Е.</i> Холодный июль 2019 года на Белом море .....	57

### ЭМБРИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

<i>Vetrova A. A., Vagaeva T. S., Saidova A. A., Kupaeva D. M., Kraus Y. A., Kremnyov S. V.</i> Gastrulation mechanisms in <i>Dynatena pumila</i> (Cnidaria: Hydrozoa).....	58
<i>Багаева Т. С., Купаева Д. М., Ветрова А. А., Косевич И. А., Краус Ю. А., Кремнев С. В.</i> Роль Wnt сигнального каскада в регуляции пространственной организации колонии <i>Dynatena pumila</i> .....	59
<i>Аиуркова Т. П., Купаева Д. М., Осадченко Б. В., Кремнев С. В.</i> Развитие и формирование первичного полипа <i>Ectopleura larynx</i> (Ellis & Solander, 1786), Tubulariidae .....	60
<i>Подлевских А. Л., Борисенко И. Е.</i> Организация сигнального пути TGF- $\beta$ и его активность в развитии губки <i>Halisarca dujardini</i> .....	61
<i>Фролова В. С., Лавров А. И., Ересковский А. В.</i> Особенности прогрессивного развития примморфов известковых губок Белого моря (Calcarea, Porifera).....	62
<i>Скоренцева К. В., Лавров А. И., Саидова А. А.</i> Особенности поведения клеток в процессе формирования регенеративной мембраны у известковой губки <i>Leucosolenia cf. Variabilis</i> .....	63
<i>Коупова А. С., Лавров А. И., Ересковский А. В.</i> The development of the whole sponge <i>Leucosolenia cf. variabilis</i> from the body wall piece.....	64
<i>Потик М. С., Соловьева А. И., Подгорная О. И.</i> Клонирование и анализ нуклеотидной последовательности ретротранспозона Рао из генома трематоды <i>Himasthla elongata</i> .....	65
<i>Лемешева В. С., Биркемайер К., Гэрбари Д., Тараховская Е. Р.</i> Роль флоротаннинов и ванадий-зависимой галопероксидазы в раннем эмбриональном развитии <i>Fucus vesiculosus</i> L. ....	66
<i>Астер К. З., Платова С. Е., Старунов В. В., Нестеренко М. А., Кулакова М. А., Новикова Е. Л.</i> Молекулярные аспекты регуляции развития и регенерации седентарной аннелиды <i>Rugospio elegans</i> (Spionidae) .....	67
<i>Бармасова Г. А., Новикова Е. Л., Старунов В. В.</i> Регенерация нервной системы у <i>Rugospio elegans</i> .....	68
<i>Melentiy A., Kostyuchenko R.</i> Expression of <i>foxA</i> homologs in embryonic development and regeneration of the oligochaete <i>Enchytraeus coronatus</i> .....	69

Никанорова Д. Д., Костюченко Р. П.  
Экспрессия генов-маркеров половых и мультипотентных клеток в эмбриональном и постэмбриональном развитии олигохеты *Enchytraeus coronatus* .....70

Kupriashova E., Kostyuchenko R., Kozin V.  
On the relationship between regenerative processes and sexual reproduction in the life cycle of annelids....71

## ПАЗАРИТОЛОГИЯ

Миролюбов А. А., Илюткин С. А., Нестеренко М. А., Борисенко И. Е., Лянгузова А. Д., Лапшин Н. Е., Арбузова Н. А.  
Примеры прямого взаимодействия корнеголовых ракообразных из семейств Peltogastridae и Peltogasterellidae с нервной системой хозяина.....72

Лапшин Н. Е., Арбузова Н. А., Илюткин С. А., Лянгузова А. Д., Миролюбов А. А.  
Интеграция паразитических ракообразных в нервную систему хозяина на примере *Lernaeodiscus* sp. (Cirripedia: Rhizocephala).....73

Илюткин С. А., Лянгузова А. Д., Лапшин Н. Е., Арбузова Н. А., Миролюбов А. А.  
Функциональная дифференциация интерны корнеголовых ракообразных на примере представителей семейств Peltogastridae и Peltogasterellidae (Rhizocephala: Cirripedia).....74

Арбузова Н. А., Илюткин С. А., Лапшин Н. Е., Лянгузова А. Д., Миролюбов А. А.  
Мышечная система интерны *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala).....75

Нестеренко М. А., Миролюбов А. А., Борисенко И. Е.  
«Наружу изнутри»: что нам может рассказать первый транскриптом Rhizocephala?.....76

Фролова Е. В., Паскерова Г. Г., Смирнов А. В., Насонова Е. С.  
*Metchnikovella spiralis* Sokolova et al. 2014 (Opisthokonta: Microsporidia):  
прижизненные наблюдения и первые данные молекулярной филогении .....77

Раппопорт А. В., Слюсарев Ю. С.  
Сравнительный анализ нервной системы Orthonectida.....78

Денисова С. А., Щенков С. В.  
Ультраструктура экскреторной системы *Cercaria parvicaudata* (Digenea, Rencolidae).....79

Денисова С. А., Щенков С. В., Кремнев Г. А.  
Ультраструктура синаптических контактов в нервной системе *Cercaria parvicaudata* (Digenea, Rencolidae).....80

Скобкина О. А., Крупенко Д. Ю.  
Строение цистофорных церкарий *Cercaria saccocaudata* (Digenea: Hemiuroidea).....81

Golovin P. V., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Rybkina E. V., Lajus D. L.  
Distribution of the threespine stickleback parasite *Cryptocotyle* spp. (Digenea) in the coastal waters of the White Sea.....82

Зенков Е. А.  
Связь между индивидуальной пищевой активностью мелких брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae* на литорали Белого моря и их зараженностью трематодами .....83

Урядова А. А., Крупенко Д. Ю., Гончар А. Г., Кремнев Г. А., Крапивин В. А.  
Жизненный цикл *Fellodistomum agnotum* (Digenea: Fellodistomidae).....84

Дюмина А. В. ДНК-баркодинг гемипопуляций личинок скребней сем. Polymorphidae литорали Баренцева и Белого моря .....	85
---	----

## ЗООЛОГИЯ

Стасюк И. В., Левина Н. С., Миронов А. Д. Мониторинг арктических грызунов: новые подходы .....	86
Левина Н. С., Стасюк И. В., Миронов А. Д. Новые данные о суточной активности норвежского лемминга <i>Lemmus lemmus</i> .....	87
Tsvetkova A., Tumanov D. Water Bears! Investigation of limnoterrestrial tardigrades of Spitsbergen using integrative approach .....	88
Белоконь М. Е., Бородин Н. А., Хабибулина В. Р., Мелехин М. С. <i>Ophryodendron abietinum</i> (Ciliophora: Phyllopharyngea) — первая находка на Белом море и новые данные о сложном жизненном цикле .....	89
Shapkina A., Khabibulina V., Starunov V. Musculature reorganization associated with budding of <i>Aurelia aurita</i> (Cnidaria, Scyphozoa) from the White Sea .....	90
Батрина Д. А., Прудковский А. А. Разнообразие фенотипов у генетически полиморфных гидроидов <i>Sarsia lovenii</i> из Белого моря .....	91
Кроленко В. И., Римская-Корсакова Н. Н. Изучение разнообразия вестиментифер <i>Lamellibrachia</i> и <i>Escarpia</i> Каймановой впадины .....	92
Арифулина А. Э., Нехаев И. О. Морфология переднего отдела пищеварительной системы брюхоногих моллюсков рода <i>Admete</i> (Neogastropoda: Cancellariidae) Евразийской Арктики .....	93
Krol E., Nekhaev I. <i>Leptogyra bujnitzkii</i> (Gorbunov, 1946) — a first representative of gastropod subclass Neomphaliones from the high Arctic .....	94
Зуев Н. М., Денисенко М. Д., Дюмина А. В. Изучение полиморфизма в популяциях брюхоногого моллюска <i>Testudinalia testudinalis</i> на литорали Баренцева моря .....	95
Денисова С. А., Щенков С. В., Филиппов А. И., Шунатова Н. Н. Строение стенки тела ювенильных особей <i>Sagitta elegans</i> (Chaetognatha) .....	96
Gafarova E., Maltseva A., Varfolomeeva M., Panova M., Mikhailova N., Granovitch A. Gut microbiomes and host species divergence: metabarcoding study in intertidal snails' cryptic species .....	97
Karagodina N. P., Vishnyakov A. E., Kotenko O. N., Ostrovsky A. N. Possible ways of bacterial symbionts transmission in bryozoan zooids .....	98



## ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

### **История биологических станций Белого и Баренцева моря**

*Горяшко А. А. \**

Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним»

\* e-mail: alexandragor4@yandex.ru

Знание истории развития науки — одна из необходимых составляющих полноценной научной работы. Фундаментом развития российской морской биологии были морские биологические станции, первая из которых возникла более 130 лет назад. По ряду объективных причин основным местом концентрации российских морских биостанций стал северо-запад России, Белое и Баренцево моря. Суммарно, начиная с XIX века, здесь существовало 14 биологических станций, если учитывать также постоянно работающие экспедиции и заповедники, то число станций приближается к 20. Все эти станции, так или иначе, связаны между собой: историей развития, преемственностью тематики, районами работ, личностями исследователей. В докладе рассматривается история и взаимосвязь морских биостанций северо-запада, начиная с Соловецкой биологической станции Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей (1881–1899) и заканчивая биостанциями, существующими в наши дни, включая Морскую биологическую станцию Санкт-Петербургского университета на о. Средний (1975).

### **The Story of White and Barents Sea Biological Stations**

*Goryashko A. A. \**

Association «Maritime Heritage: Study and Preserve»

\* e-mail: alexandragor4@yandex.ru

At the core of the development of the Russian marine biology were sea biological stations, the first of which was established over 130 years ago. From the 19th century to our days the total number of biological stations operating on the White and Barents Sea was about fifteen. Here we look into the history and relationships between these biological stations, starting from the Solovki station of the St. Petersburg Naturalist Society (1881 to 1899), and ending with the stations that are still active, which include the St. Petersburg University's Marine Biological Station on Sredniy Island (1975).

## Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии) — 55 лет работы на Белом море

*Полоскин А. В.<sup>1,2\*</sup>, Аристов Д. А.<sup>1,3</sup>, Хайтов В. М.<sup>1,2,4,5</sup>*

<sup>1</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Эколого-биологический центр «Крестовский остров», Санкт-Петербург

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

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

<sup>5</sup> Кандалакшский государственный заповедник, Мурманская область

\* e-mail: av@hydrola.ru

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии) — уникальный по длительности и масштабу педагогический проект профориентации школьников Санкт-Петербурга в сфере науки путем вовлечения в исследовательскую работу в области морской биологии и гидробиологии. Основанная в 1964 году замечательным педагогом и талантливым исследователем Евгением Александровичем Нинбургом, Лаборатория продолжает свою деятельность и, несмотря на изменение парадигм образования, развивается и держит высокую планку качества научных проектов. Важнейшей задачей лаборатории были и остаются реальные научные исследования, материал для которых собирается в экспедициях. Научные экспедиции Лаборатории проходили на Баренцевом, Балтийском, Черном, Азовском и Адриатическом морях, однако основные места проведения исследований связаны с Белым морем. Главным партнером в этой работе всегда был и остается Кандалакшский государственный природный заповедник, с которым у Лаборатории возник продуктивный научно-образовательный «симбиоз». Материал, собранный в ходе ежегодных научных экспедиций Лаборатории в Кандалакшский государственный заповедник, находит свое отражение в многочисленных (более 500) самостоятельных исследовательских работ школьников. Обобщения экспериментов и полевых наблюдений публикуется в научной периодике, включая международные реферируемые издания (более 300 публикаций). Результаты исследований ежегодно презентуются на различных конференциях и симпозиумах. Важно отметить, что в публикациях школьники, обучающиеся в Лаборатории, выступают в качестве полноправных соавторов. Основные направления исследований Лаборатории связаны с инвентаризацией донной фауны заповедных территорий (Гришанков и др. 1997; Гришанков и др., 2000), изучением структуры и динамики популяций и сообществ донных организмов (Александров, Нинбург, 1983; Khaitov, 2013; Skazina et al., 2013; Genelt-Yanovskiy et al., 2017). В последние годы активно развивается направление, связанное с полевыми экспериментами, позволяющими глубже понять структуру донных сообществ и суть межвидовых отношений в них (Khaitov, Brovkina, 2014; Khaitov et al. 2018; Aristov, Varfolomeeva, 2019).

За прошедшее время несколько сотен выпускников Лаборатории сделали карьеру исследователей в самых разных областях науки и работают в научных учреждениях практически по всему миру.

В основе принципа работы Лаборатории, который она сохраняет в течение всего периода своего существования, лежит ее открытость к сотрудничеству. Поэтому коллектив Лаборатории включает в себя не только школьников и преподавателей, но и студентов, аспирантов и научных сотрудников, чьи интересы в области морской биологии могут реализовываться в совместной работе. В этом мы видим и элемент исторической устойчивости проекта Лаборатории, и возможности дальнейшего существования и развития.

## Laboratory of marine benthic ecology and hydrobiology: studying the White Sea for 55 years

*Poloskin A.<sup>1,2\*</sup>, Aristov D.<sup>1,3</sup>, Khaitov V.<sup>1,2,4,5</sup>*

<sup>1</sup> Laboratory of marine benthic ecology and hydrobiology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Youth Centre for ecology and biology “Krestovskiy ostrov”, Saint Petersburg

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

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

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

\* e-mail: av@hydrola.ru

The Laboratory of marine benthic ecology and hydrobiology is a unique educational project for the schoolchildren. It was founded in 1964 by an outstanding teacher and talented researcher Eugene Alexandrovich Ninburg. Nowadays his laboratory continues its activities and develops and maintains a high standard of quality for school scientific projects.

## **Фитопланктон арктических морей России и методы его исследования в рамках комплексного экологического мониторинга**

*Витченко Т. В. \**

Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова, управление научных исследований и разработок, лаборатория гидробиологии, Москва

\* e-mail: t.vitchenko@marine-rc.ru

Районы континентального шельфа и области континентальных склонов арктических морей относятся к высокопродуктивным зонам Северного Ледовитого океана. В связи с интенсивным развитием нефтегазового комплекса на шельфе арктического бассейна появилась объективная необходимость сохранения и восстановления морских биологических ресурсов российской Арктики, а также принятия мер, снижающих антропогенную нагрузку. Важным направлением научных исследований в регионе становится изучение арктических морских экосистем. Исследование параметров фитопланктона имеет приоритетное практическое значение в связи с тем, что микроводоросли являются низшим трофическим уровнем морской экосистемы и формируют ее биопродуктивность. Фитопланктон рассматривается в качестве биоиндикатора при оценке состояния окружающей среды. Важными параметрами, характеризующими состояние экосистемы, являются структура сукцессионного цикла фитопланктона, таксономический состав, количественные и продукционные характеристики. Необходимо не только оценить особенности распределения, численность, биомассу фитопланктона, уровень первичной продукции и деструкции органического вещества в экосистеме, но и выявить факторы, влияющие на микрофитоценозы в краткосрочной и долговременной перспективе. Сложные климатические условия, труднодоступность и экологическая уязвимость района обуславливают необходимость разработки программ комплексного мониторинга состояния морских экосистем и единого методологического подхода при проведении работ. Наибольшую сложность при исследовании фитопланктона вызывает оценка уровня первичной продукции, это связано с целым рядом методологических и технических причин. При разработке программ мониторинга состояния фитопланктона арктических морей, следует учитывать необходимость проведения исследований как в водной толще, так и в ледовых структурах. Наблюдения за состоянием сообщества морского фитопланктона должны сочетать гидрологические, гидробиологические, гидрохимические, биохимические и экспериментальные методы исследования. Необходимо создавать комплексные базы данных, включающие многолетние ряды систематических наблюдений за состоянием условий окружающей среды и морских гидробионтов в российской Арктике.

## **Механизмы опреснения морских вод в заливах Цивольки и Седова (Новая Земля) по изотопным ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ ) данным**

*Коссова С. А. \*, Дубинина Е. О., Мирошников А. Ю.*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва  
\* e-mail: sonch\_1@rambler.ru

Данная работа посвящена изучению процессов опреснения поверхностных вод в заливах северного острова архипелага Новая Земля, для которых существует несколько потенциальных источников опреснения (глобальные и локальные). Цель работы состоит в оценке роли разных источников опреснения. Для этого были использованы данные об изотопном составе кислорода и водорода ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) и солености вод. Метод изотопной геохимии кислорода и водорода является традиционным для идентификации пресных вод, и может быть использован для количественной оценки доли пресных вод разного происхождения в морской воде.

Изотопные параметры вод Карского моря изучены, но изотопных исследований в водах, непосредственно прилегающих к архипелагу Новая Земля, ранее не проводилось. Ранее установлено, что в центральной части Карского моря наблюдается двухкомпонентное смешение модифицированных атлантических вод с эстуарными водами Енисея и Оби. Однако с удалением от источников континентального стока, процессы опреснения осложнены присутствием локальных источников опреснения, что подтверждается отклонением наблюдаемых параметров ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ , соленость) от модели двухкомпонентного смешения.

Материалы для исследований были получены в ходе рейсов НИС «Профессор Штокман» (2014 г.), и «Академик Мстислав Келдыш» (2015, 2016 гг.) в район Карского моря. Для каждой станции был изучен вертикальный профиль распределения гидрофизических параметров и величин  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ .

Анализ полученных данных показал, что во все годы наблюдений воды обоих заливов на всех глубинах опреснены по отношению к господствующим в Карском море водам атлантического происхождения, но степень опреснения и источники опресняющих компонентов различны для вод, залегающих на разных глубинах. Временные вариации изотопных параметров затрагивают только воды, лежащие выше галоклина, и в этих водах содержится до 30 % пресного компонента. Было показано, что в 2015 году в опреснении поверхностных вод залива Седова участвовали воды Оби, а в поверхностных водах залива Цивольки преобладали локальные источники опреснения.

Наличие большого количества потенциальных источников опреснения делает Заливы Новой Земли сложным объектом для изучения процессов опреснения их акваторий. Распределение опресняющих компонентов уникально для каждого из заливов и определяется степенью открытости акватории, а также ее географическими и морфологическими особенностями.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00740.*

## **Seawater freshening mechanisms in the Tsyvolki and Sedova bays (Novaya Zemlya) according to the isotope ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ ) data**

*Kossova S. A. \*, Dubinina E. O., Miroshnikov A. Yu.*

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow  
\* e-mail: sonch\_1@rambler.ru

This work is dedicated to seawater freshening processes in the bays of Novaya Zemlya archipelago. The obtained data showed that the waters of both bays at all depths are freshened in relation to the NEADW, but the freshening degree and freshwater sources are different for waters occurring at different depths.

## **Mechanisms of authigenic carbonates crystallization in the environments related to hydrocarbons generation/oxidation**

*Krylov A. A. \**

FGBU VNIIOkeangeologia, Saint Petersburg

Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of sedimentary geology, Saint Petersburg

\* e-mail: akrylow@gmail.com

The mechanisms of the problematic authigenic carbonate crystallization, in general, can be described by the destruction of organic matter and/or kerogen and oxidation/generation of methane. The relevance and fundamental significance of their investigation is determined by the crucial importance of authigenic carbonates in the global carbon cycle. Problematic authigenic carbonates (for example, those extremely enriched in the heavy  $^{13}\text{C}$  isotope) impact on the overall balance calculations of the global carbon cycle, which has not been taken into account previously.

Among problematic carbonates the following will be discussed in our presentation: 1) rhodochrosite-siderites from the ACEX-302 well drilled in the near-polar part of the Lomonosov Ridge, Arctic Ocean, since their real and theoretically possible positions in the section do not coincide; 2) siderites of the southern basin of Lake Baikal, extremely enriched in the heavy  $^{13}\text{C}$  isotope, because of the discrepancy between the nature of methane (migration, formed in the catagenesis zone) and carbon dioxide (formed in situ as a result of methane generation processes in the absence of local methane); 3) Cascadia accretionary prism dolomites with the heaviest isotope  $\delta^{13}\text{C}$  values in the world; 4) carbonates of the catagenesis zone, formed in the areas of oil and gas distribution, since they can be used as an additional prospecting criteria for hydrocarbons; 5) ikaites ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) from the Arctic shelves, as they can mark hydrocarbon discharge sites.

Based on the isotopic composition of carbonates it is possible to reconstruct the nature and composition of the original methane and/or organic matter, from which carbon entered into carbonates. The accuracy of the methodology verified by field measurements of the composition of methane and organic matter, which are currently in contact with carbonates. This technique can be used for the reconstruction of carbon sources in the “ancient” (not modern) carbonates, selected, for example, from paleoseeps.

*The study was supported by grant from RSF 19-17-00226.*

## **Космогеофизические эффекты в показателях *in vivo* — *in vitro***

*Шаповалов С. Н.\**

ФГБУ «ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

\* e-mail: shapovalov@aari.ru

За последние десятилетия выполнены многочисленные исследования зависимости показателей биосферы и среды обитания человека от солнечной активности. Преобладающая часть этих исследований посвящена анализу связи характеристик различных сенсоров и биохимических тестов с вспышечными событиями на поверхности Солнца, инициирующие возмущения геомагнитного поля. К настоящему времени установлено, что воздействие солнечных факторов на земную среду проявляется в более широком диапазоне и включает гравитационные факторы, не связанные с действием приливообразующих сил, т. е. с колебаниями уровня моря в прибрежных зонах. Результаты медико-геофизических наблюдений, полученные в разные годы на российских антарктических и арктических станциях, свидетельствуют о том, что влияние гравитационных факторов (от Солнца) на земную среду проявляется закономерно в виде нутационного и поступательного движений Земли, а также основных возмущений от Солнца из теории движения Луны (эвекция, вариация, годичное неравенство).

На основании установленных связей предполагается выработать критерии для прогнозирования космогеофизических воздействий на организм человека.

## **Space geophysical effects in observations *in vivo* — *in vitro***

*Shapovalov S. N.\**

Arctic and Antarctic research Institute, Saint Petersburg

\* e-mail: shapovalov@aari.ru

The results of *in vitro* — *in vivo* study of temporal characteristics obtained in observations at Russian Antarctic and Arctic stations in different years are presented. Conclusions about the impact of nutational and translational movements of the Earth, as well as the main disturbances from the Sun from the theory of moon motion on the indicators of the biosphere and human biomarkers are obtained.

## **Биомониторинг морской среды по фораминиферам**

*Корсун С. А. \*, Голикова Е. А.*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: s\_korsun@mail.ru

Фораминиферы — раковинные протисты, в массе обитающие в морских осадках, чрезвычайно удобны для проведения мониторинговых исследований. Эти организмы обильны в морских осадках, характеризуются высоким видовым разнообразием, высокой скоростью размножения, а также наличием чувствительных и устойчивых к загрязнению видов. Раковины фораминифер хорошо сохраняются в морских осадках, что позволяет использовать их не только в качестве индикаторов современного экологического статуса сообществ, но и как источник информации о состоянии сообщества в доиндустриальную эпоху. Количество биомониторинговых исследований с использованием бентосных фораминифер неуклонно растет в последние десятилетия, и в настоящее время в этой области активно работают более 50 различных исследовательских групп по всему миру, разрабатывающих количественные индексы оценки экологического статуса акватории с использованием фораминифер. Индексы оценивают как таксономическое разнообразие сообществ (например, индекс Шеннона-Уивера), так и чувствительность определенных видов к стрессовому воздействию (Fogam-AMBI индекс, а также оценка влияния потенциально токсичных элементов на фораминифер в экофизиологических экспериментах). Фораминиферы уже зарекомендовали себя как многообещающий инструмент для оценки состояния среды и успешно применяются в государственных программах мониторинга морских экосистем в ряде европейских стран.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ №18-54-20001.*

## **Foraminiferal bio-monitoring**

*Korsun S. \*, Golikova E.*

<sup>1</sup> Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: s\_korsun@mail.ru

Foraminifera are shell-bearing protists that abundant in marine sediments. They are suitable for environmental monitoring owing to their diversity, abundance, fast reproduction rates, presence of stress-tolerant taxa, and preservation of their shells in marine sediments. Indices for assessing the ecological status of marine water bodies using foraminifera are discussed.

## ***Amauropsis islandica*: от дырявых ракушек к роли хищника на литорали**

*Аристов Д. А.\**

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

Несмотря на общепринятое мнение о снижении роли биотических факторов в поддержании структуры сообществ в умеренных и приполярных районах (Schemske et al, 2009), недавние исследования показывают, что межвидовые взаимоотношения могут оказывать здесь существенное влияние (Yakovis, Artemieva, 2019). Однако, количественно охарактеризовать взаимоотношения между членами морских сообществ подчас весьма затруднительно. Выявление видов, влияние которых на сообщество можно довольно просто оценить количественно представляется перспективной задачей.

*Amauropsis islandica* — представитель семейства натицид (Gastropoda), распространенный в умеренных и приполярных морях. Характерная особенность натицид состоит в том, что в результате их питания в грунте остаются просверленные створки их жертв — в основном, двустворчатых моллюсков. Таким образом, простой учет раковин с отверстиями сверления может стать важным источником информации о распространении натицид, их рационе, пищевых предпочтениях, а также об их влиянии на популяции жертв.

Начиная с 2001 года мы исследуем плотные поселения *A. islandica* на литорали островов Северного архипелага (Кандалакшский залив), а также проводим садковые наблюдения с целью выяснения различных аспектов питания этих хищников (Aristov et al., 2015; Genelt-Yanovskiy et al., 2017; Aristov, Varfolomeeva, 2019).

Было выяснено, что, хотя на беломорской литорали *A. islandica* поедает практически все доступные ему виды моллюсков, основную роль в питании играет массовая литоральная форма *Macoma balthica* (Bivalvia: Tellinidae) (Аристов, Гранович, 2011). Среднемноголетняя плотность хищников на исследовательских полигонах составляет 7–10 экз./м<sup>2</sup>, что на порядок превышает известные плотности других видов натицид в иных местообитаниях. Доля перфорированных раковин в общем пуле ракушки маком в литоральном грунте составляет 50 % и более. Молодь *A. islandica* демонстрирует видовую селективность в питании, предпочитая массовому брюхоногому моллюску *Hydrobia ulvae* менее обильную на литорали макому (Aristov et al., 2015). Хищник выбирает для атаки наиболее крупных из доступных ему особей *M. balthica*, причем по мере роста *A. islandica* его размерные предпочтения смещаются в сторону все более крупных маком. Нам удалось показать на примере долговременных наблюдений, что размер и плотность *A. islandica* являются предикторами среднего размера *Macoma balthica* в Южной губе. Поскольку в результате питания хищника наиболее крупные особи маком в поселении элиминируются, связь между указанными параметрами обратная (Aristov, Varfolomeeva, 2019). Изменение среднего размера *M. balthica* за счет *A. islandica* может иметь не только популяционный, но и биоценотический эффект.

*Проект частично поддержан грантом РФФИ № 18-34-00405, а также средствами по гос. теме «Динамика структуры и функционирование экосистем Белого моря и сопредельных арктических морей» (№ AAAA-A19-119022690122-5).*

## **The case of Iceland moonshell: from the drilled shells to predator's role at the intertidal**

*Aristov D.\**

Zoological Institute RAS, Saint Petersburg

Laboratory of marine benthic ecology and hydrobiology, Saint Petersburg

\* e-mail: amauropsis@gmail.com

The results of long-term survey and caging experiments show that at the White Sea sandflats *Amauropsis islandica* (Naticidae: Gastropoda) can shape the population of *Macoma balthica* (Tellinidae: Bivalvia) by eliminating the large specimen via size-selective predation. Therefore, *Amauropsis* could indirectly influence the intertidal community structure.



## Ten years of research of the Tantulocarida — enigmatic parasites from the White Sea

Petrunina A. S.\*

Department of Invertebrate Zoology, Moscow State University, Moscow

\* e-mail: as.savchenko1@gmail.com

Tantulocarida is a small subclass of parasitic Crustacea that exclusively utilize other crustaceans as hosts. Both larval and adult stages are among the smallest arthropods, and the tantulus larva can be considered as the smallest segmented crustacean larva known so far. The complex life cycle of these parasites which includes both parthenogenetic and sexual phases has not yet been fully reconstructed and their phylogenetic position within the Pancrustacea still remains elusive.

Two species of Tantulocarida, *Arcticotantulus pertzovi* Kornev, Tchesunov & Rybnikov, 2004 and *Microdajus tchesunovi* Kolbasov & Savchenko, 2010, representing different families and infesting different host categories (harpacticoid copepods and tanaidaceans) were discovered in the White Sea in the early 2000s. Various aspects of their internal anatomy, phylogenetic position and biology have been studied since.

A preliminar phylogenetic analysis based on 18S rDNA sequences of both White Sea species resolved the Tantulocarida as sistergroup to the Cirripedia within the Thecostraca. This result requires additional confirmation using a more extensive molecular dataset; however, morphological evidence in support of a close relationship between tantulocaridans and barnacles is provided by the presence and structure of the cement gland, which produces gluing material for the larva to settle down.

The anatomy of the tantulus larva has been studied using CLSM, TEM and SEM, demonstrating that the tantulus larva undergoes significant changes once it is permanently attached to the host. These modifications include the release of cement followed by quick degradation of the cement gland, disintegration of muscular structures and formation of the rootlet system. Similar studies on the adult male revealed the presence of a so-called honeycomb-like structure located in front of the brain which is tentatively identified as a gonad.

Populations of both tantulocaridan species were studied during various seasons in the vicinity of the WSBS and revealed seasonal changes in the ratios of the various life cycle stages. Several attempts to obtain the sexual female in the White Sea have remained fruitless so far. However, the presence of an as yet undescribed nauplius stage in meiobenthic samples suggests that the absence of sexual females in previous surveys is due to sampling bias.

## **Полярные динозавровые фауны России**

*Скучас П. П.\**

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

\* e-mail: skutchas@mail.ru

На данный момент обнаружены сотни местонахождений с остатками динозавров и других позвоночных, которые вместе с ними жили (= динозавровые фауны), но лишь единицы из них сформировались вблизи полярных широт мезозоя. На территории России известны два местонахождения полярных динозавровых фаун: раннемеловое местонахождение Тээтэ в Республике Саха (Якутия) и позднемеловое местонахождение Каканаут на Чукотке.

Местонахождение Тээтэ является единственным известным раннемеловым местонахождением полярной динозавровой фауны Северного полушария. Изучение фауны позвоночных Тээтэ показало, что (1) большая территория современной Сибири являлась рефугиумом для реликтовых юрских позвоночных; (2) не было заметных различий в составе высокоширотных якутских и среднеширотных западносибирских раннемеловых фаун позвоночных; (3) на территории Северной Азии переход от юрским к меловым фаунам позвоночных был плавным.

Из позднемелового местонахождения Каканаут известны только остатки динозавров (и скорлупы их яиц). Изучение полярных динозавров Чукотки показало, что они были таксономически разнообразны, могли размножаться и постоянно жить в полярных условиях конца мелового периода.

Дальнейшее изучение полярных динозавровых фаун России позволит выявить биологические адаптации вымерших позвоночных к обитанию в арктических экосистемах мезозоя.

*Проект выполняется при поддержке РФФИ, грант 17-54-12041 НННО\_а.*

## **Polar dinosaurian faunas of Russia**

*Skutschas P.\**

Saint Petersburg University, Vertebrate Zoology Department, Saint Petersburg

\* e-mail: skutchas@mail.ru

Studies of Russian polar dinosaurian faunas showed that there was Early Cretaceous Siberian refugium for Jurassic relicts; compositions of polar and mid-latitude Siberian Early Cretaceous faunas were similar; transition from the Jurassic to Cretaceous biotas was smooth; Late Cretaceous dinosaurs were diversified, could reproduce and permanently live in Arctic regions.

## УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

### Динамика комплексов микромицетов в процессе зарастания породных отвалов угольных шахт архипелага Шпицберген

Ильюшин В. А. \*

Ботанический Институт РАН, лаборатория систематики и географии грибов, Санкт-Петербург  
\* e-mail: ilva94@yandex.ru

На сегодняшний день все более актуальной становится проблема загрязнения окружающей среды из-за горнодобывающей деятельности. При добыче каменного угля образуются породные отвалы, которые зачастую занимают большие площади.

Рекультивация нарушенных земель является важнейшей экологической проблемой. Особенно актуальным является этот вопрос в условиях высоких широт на архипелаге Шпицберген, где промышленная добыча угля продолжается уже более ста лет, а биологические процессы протекают медленно.

Однако традиционные методы рекультивации зачастую дорогостоящи и не всегда эффективны. Поэтому становится все более актуальным применение микроорганизмов, в том числе и микромицетов, в качестве биодеструкторов угля. Ферменты микроскопических грибов, участвующие в деструкции угля, относятся к лигнолитическим ферментам (пероксидазы, Mn-пероксидазы и лакказы).

Целью исследования было изучение динамики комплексов микроскопических грибов породных отвалов угольных шахт в процессе их зарастания в условиях архипелага Шпицберген, а также обнаружение активности лигнолитических ферментов у выделенных штаммов микромицетов.

Для изучения динамики комплексов микромицетов на территории архипелага Шпицберген были отобраны пробы породы отвалов разных возрастов (формируемые отвалы, 10-, 30- и 50-летние) вблизи пос. Баренцбург (78°03'51" с. ш., 14°11'09" в. д.).

Чистые культуры микромицетов выделяли на среде Чапека (CZ) при различных температурных режимах (20 °C и 5 °C). Таксономическую принадлежность выделенных микромицетов определяли на основании культурально-морфологических признаков, а также с помощью молекулярных методов. Так, в качестве филогенетического маркера использовали последовательность региона ITS. Лигнолитическую активность штаммов определяли реакцией Бавендамма. О выделении лигнолитических ферментов судили на основании появления пигмента в среде с добавлением танина в процессе роста гриба.

Всего из исследованных образцов было выделено 204 изолята, принадлежащих к 30 родам и 53 видам. Наибольшее число видов (13) принадлежит роду *Penicillium*, *Cadophora* (4 вида), *Trichoderma* (4 вида). С возрастом отвалов увеличивалось видовое разнообразие. Если в породах формируемых отвалов было обнаружено только 6 видов микромицетов, то в отвалах возрастом 50 лет — 20 видов.

Наблюдалось изменение динамики удельного обилия видов. В формируемом породном отвале наблюдали супердоминирование *Pseudogymnoascus pannorum* (76 %). С возрастом отвалов его удельное обилие падает до 37 %.

Лигнолитической активностью обладали изоляты 12 видов микромицетов. Наибольшая активность лигнолитических ферментов была обнаружена у штаммов, принадлежащих к темноцветным видам *Trichocladium asperum*, *Hyaloscypha hepaticicola*, *Cadophora fastigiata* и *Cadophora malorum*.

В дальнейшем планируется оценка биотехнологического потенциала выделенных изолятов.

### Dynamics of complexes of micromycetes in the process of overgrowing of rock dumps of coal mines from the Svalbard

Iliushin V. A. \*

Botanical Institute RAS, Laboratory of systematic and geography of Fungi, Saint Petersburg  
\* e-mail: ilva94@yandex.ru

We studied the dynamics of fungi complexes from coal dumps in the process of their growth in the Svalbard. Samples were taken from coal mine dumps with different ages: fresh dumps, 10, 30 and 50 year old. In total, 204 isolates of 53 species were isolated from the studied samples.

## **Использование этологических методов при изучении поведения белухи (*Delphinapterus leucas*)**

*Желудкова А. И.\**

Федеральный Центр комплексного изучения Арктики, лаборатория пресноводных и морских экосистем,  
Архангельск

\* e-mail: ki-delf@mail.ru

Нами была сделана попытка описать поведение белухи в определенном районе с помощью составления этограммы и использования бланков, при заполнении которых использовался метод сплошного протоколирования и метод фокального наблюдения за особью и группой особей.

Работы проводились у м. Белужий, на о. Соловецкий (Белое море) 2012–2019 гг. В ходе работ составлялась этограмма. Этограмма представляет собой элементы поведения разных структурных уровней и позволяет описать необходимые аспекты поведения *Delphinapterus leucas*. Этограмма включает в себя 42 элемента и остается открытой, т. е. возможно включение новых элементов поведения белухи. Элементы этограммы включались в бланки, разработанные для наблюдений. Фиксировалась их частота и последовательность, что позволило и в дальнейшем позволит применять этологические индексы при обработке материала. В ходе наблюдений у белухи были зафиксированы стереотипные траектории движения в естественной среде обитания, которые тоже состояли из элементов этограммы, посредством которой описывалось поведение белухи *D. leucas*.

*Работы проводились на базе Соловецкой прибрежно-морской экспедиции Института океанологии РАН. Выражаю благодарность Красновой Вере Владиславовне, Чернецкому Антону Дмитриевичу, Беликову Роману Александровичу, Прасловой Екатерине Александровне. Выражаю благодарность заведующему лаборатории морских млекопитающих Кавцевичу Николаю Николаевичу (ММБИ) и заведующему лабораторией пресноводных и морских экосистем (ФГБУН ФИЦКИА РАН) за возможность работать над своей темой в командировках на базе Соловецкой прибрежно-морской экспедиции Института океанологии РАН.*

## **The use of ethological methods in the study of the behavior of beluga whales (*Delphinapterus leucas*)**

*Zheludkova A. I.\**

Federal Center for the Integrated Study of the Arctic, Laboratory of Freshwater and Marine Ecosystems, Arkhangelsk

\* e-mail: ki-delf@mail.ru

When conducting studies of belugas at Cape Beluzhiy cape, Solovetsky island (White Sea) in 2012–2019 ethological methods were applied. An ethogram has been compiled, which includes 42 elements. Stereotypical trajectories of movement in the natural environment are described using the elements of the ethogram, which were entered into special forms for observation. Ethological indices were used in research of the white whale.

## От рыб к морским млекопитающим, или куда нас привело изучение жизненного цикла трематоды *Neophasis oculata* (Trematoda: Digenea)

Кремнев Г. А.<sup>1\*</sup>, Гончар А. Г.<sup>1,2</sup>, Крапивин В. А.<sup>1,3</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, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Центр паразитологии, Москва

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

Среди трематод есть несколько семейств, отдельные виды которых реализуют свои жизненные циклы с участием морских млекопитающих. Однако мариты только одного таксона — Brachycladiidae — используют в качестве окончательного хозяина исключительно китообразных или ластоногих. Еще во второй половине прошлого века американский исследователь Р. Кэйбл предполагал, что ближайшим родственником брахикладиид являются трематоды сем. Acanthocolpidae. При этом мариты этого семейства являются паразитами морских костистых рыб. Впоследствии молекулярно-филогенетические исследования показали, что акантокольпиды являются парафилетической группой: ряд их видов кластеризуется вместе с брахикладидами. В реализации жизненных циклов Acanthocolpidae в качестве промежуточных хозяев выступают гастроподы (преимущественно Buccinoidea) и морские костистые рыбы (реже двустворчатые моллюски). В то же время жизненные циклы ни у одного из видов Brachycladiidae не расшифрованы, так что пути заражения морских млекопитающих маритами этого семейства нам все еще неизвестны.

На Белом море обитают два вида сем. Acanthocolpidae — *Neophasis anarrhichae* (обладающий вторично диксенным жизненным циклом) и *N. oculata*. Триксенный жизненный цикл *N. oculata* был расшифрован Г. К. Чубрик в середине прошлого века. Первым промежуточным хозяином этого вида является *Cryptonatica affinis* (Littorinimorpha). В роли второго промежуточного хозяина выступают одновременно костистые рыбы (керчаки) и двустворчатые моллюски (сем. Cardiidae).

Изначальной задачей нашей работы была верификация жизненных циклов *N. anarrhichae* и *N. oculata*. Потенциальные промежуточные и окончательные хозяева обоих видов (*Anarrhichas lupus*, *Buccinum undatum*, *Muhocephalus scorpius*, *Ciliatocardium ciliatum*, *Serripes groenlandicus*, *C. affinis*) были собраны на Белом море в окрестностях УНБ СПбГУ «Беломорская» и в районе Соловецких островов в течение летнего сезона 2018 и 2019 годов. Трематоды были использованы для последующего морфологического и молекулярного анализа с использованием ядерных и митохондриальных маркеров.

Результаты молекулярно-филогенетического анализа показали, что мариты *N. oculata* и метацеркарии, извлеченные из керчака, являются одним видом (образующим сестринскую кладу по отношению к редиям и маритам *N. anarrhichae* в пределах Acanthocolpidae). Церкарии из *C. affinis* и метацеркарии из двустворок сем. Cardiidae оказались другим видом — представителем сем. Brachycladiidae. Анализ последовательности гена ND3 позволил выяснить, что эти личинки принадлежат виду *Orthosplanchnus arcticus*.

Кто является первым промежуточным хозяином *N. oculata*? Паразитируют ли в Беломорских гастроподах церкарии других видов сем. Brachycladiidae? Какие различия имеются в строении личинок акантокольпид и брахикладиид? Эти и ряд других вопросов мы собираемся осветить в нашем докладе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №19-74-10029.

## From fishes to marine mammals, or where has the study of the *Neophasis oculata* (Trematoda: Digenea) life cycle of the trematode brought us

Kremnev G.<sup>1\*</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Krapivin V.<sup>1,3</sup>, Krupenko D.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, The Center of Parasitology, Moscow

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

We conducted morphological and molecular analysis of different life cycle stages of *Neophasis oculata* (Digenea: Acanthocolpidae). We confirmed that adults and metacercariae from fish belong to this species. However, cercariae from *Cryptonatica affinis* and metacercariae from bivalves appeared to be a species from a closely related family — Brachycladiidae.

## Особенности летнего гидрологического режима пролива Сухая салма Белого моря

Маховиков А. Д. \*, Смагин Р. Е., Иванов М. В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

\* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

Пролив Сухая Салма — водоем в Кандалакшском заливе Белого моря. Примечательным местом является неглубокий залив, представляющий полуизолированный водоем — это «лагуна» Колюшковая, вдающаяся в о. Большой Горелый, при отливе отгороженная от Сухой Салмы осушающимися каменистыми участками. Гидрология лагуны сильно отличается от остальной акватории.

В последние годы этот объект привлекает внимание исследователей природы Белого моря (океанологов, гидробиологов и др.), поскольку лагуна активно используется трехиглой колюшкой *Gasterosteus aculeatus* для нереста. Колюшка играет существенную роль в питании прибрежных рыб в летний период и является важной частью морской экосистемы. Океанологические исследования в Сухой Салме проводились в ходе летних сезонов 2018–19 гг. (в лагуне и на мористой акватории). В ходе измерений были получены данные по колебаниям уровня, температуре и солености воды, течениям, концентрации хлорофилла, кислорода и др. Численность и распределение трехиглой колюшки были исследованы в 2018 году.

Для эксперимента в Сухой Салме были выбраны две точки: морская и в лагуне. Работы производились в летний период, при различных астрономических условиях (сизигия, квадратура). Наблюдения за уровнем моря показали, что колебания уровня в лагуне существенно отличаются от хода уровня на внешней (морской) акватории Сухой Салмы. Уровень воды в лагуне меняется незначительно, а заток вод со стороны моря происходит лишь во время сизигийного прилива. В летний период толща воды в «лагуне» термически неоднородна — верхний слой хорошо прогревается. В теплое время года температура верхнего слоя в лагуне и мористой части Сухой Салмы заметно отличаются (температура воды в лагуне больше на 8–9 °С). Соленость верхнего слоя также неодинакова, ее изменчивость зависит от объемов речного стока и особенностей перемешивания разнородных вод вблизи устьевой области р. Кереть. Содержание растворенного кислорода и его насыщенность в водах лагуны в летний период имеет тенденцию увеличения значений от поверхности до дна.

Всего в лагуне было обнаружено 8 видов рыб. Из них массовыми были трехиглая и девятииглая колюшки. Численность мальков трехиглой колюшки во время прибрежного нагула в августе в лагуне достоверно больше, чем в проливе Сухая Салма.

В целом, в лагуне создаются благоприятные условия для жизненных циклов некоторых гидробионтов. В частности, для трехиглой колюшки это повышенная температура воды и отсутствие хищных рыб.

*Работа выполнена при технической поддержке РЦ «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-04-01052 «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и прибрежья Белого моря».*

## Summer hydrology features of Suhaya Salma strait, White Sea

Makhovikov A. D. \*, Smagin R. E., Ivanov M. V.

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

\* e-mail: alexmakhovikov@gmail.com

In the Sukhaya Salma strait (west coast of the Kandalaksha Bay, White Sea) there is a lagoon which is connected with the main part of the strait during high tide. In this research we compared conditions in this lagoon and outside it.

## Описание новых белков асцидий, участвующих в формировании внеклеточного матрикса туники

Тылец М. И.<sup>1,2\*</sup>, Шапошникова Т. Г.<sup>2</sup>, Адонин Л. С.<sup>1</sup>, Миттенберг А. Г.<sup>1</sup>, Шабельников С. В.<sup>1</sup>, Даугавет М. А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург

\* e-mail: masana97@yandex.ru

Асцидии — наиболее многочисленный класс подтипа Оболочников. Эти хордовые животные обладают отличительной чертой анатомического строения — туникой, состоящей из целлюлозных фибрилл, белковых молекул и одиночных клеток. Механизм формирования туники представляет собой интерес как модельная система для изучения взаимодействия клеток с внеклеточным матриксом. Таким образом, целью работы стало описание некоторых белков, принимающих участие в формировании туники, на примере асцидии *Styela rustica*, обитающей в Белом море.

Показано, что в формировании туники принимают участие морулярные клетки крови асцидий и содержащийся в них мажорный белок — р48, однако, природа самого белка и его функция не были описаны. Методом масс-спектрометрии определены пептиды, входящие в состав аминокислотной последовательности р48. Поиск пептидов в базах данных обнаружил гомологи р48 у асцидий *Styela clava*, *Styela plicata* и *Styela canopus*. Для дальнейшего анализа использовали родственную последовательность асцидии *S. canopus*. Последовательность начинается с сигнального пептида, что говорит о возможной секреторной природе белка, изоэлектрическая точка составляет 9.77, что согласуется с экспериментальными данными, полученными ранее для р48. Однако молекулярная масса составляет 103 кДа, таким образом, р48 *S. rustica* является более коротким гомологом. Поиск консервативных функциональных доменов показал наличие двух Са связывающих EGF подобных доменов, тромбоспондинового (TSP1) и тирозиназного доменов. Пептиды белка р48, определенные масс-спектрометрически, попадают в область последовательности, соответствующую двум последним доменам, и имеют аминокислотные замены по сравнению со своим гомологом у *S. canopus*. Известно, что тирозиназный домен входит в состав фермента фенолоксидазы, участвуя в процессах меланизации и иммунном ответе. Тромбоспондиновый домен взаимодействует с широким спектром белков, и участвует в коагуляции, клеточной адгезии, модуляции межклеточных и клеточно-матриксных взаимодействий, заживлении ран и ремоделировании тканей. Таким образом, можно предполагать, что тирозиназный домен в составе р48 играет роль фермента фенолоксидазы, а TSP1 обеспечивает связь между внеклеточным матриксом и рецепторами клеточной поверхности, а также может отвечать за репарацию туники.

В то же время, на основе анализа транскриптов клеток крови асцидий выявлен белок, схожий со структурным белком покровов человека — репетином. Его последовательность состоит из повторов по 12 аминокислот и способна секретироваться. Последовательность индивидуальных повторов схожа с последовательностью описанных ранее субстратов фенолоксидазы асцидий.

Полученные результаты позволяют предположить, что р48 является ферментом, участвующим в задубливании белков туники, и важным регулятором организации внеклеточного матрикса, а белок, схожий с репетином человека, играет роль субстрата фенолоксидазы.

## Description of new ascidian proteins involved in the formation of the tunic extracellular matrix

Tylets M. I.<sup>1,2\*</sup>, Shaposhnikova T. G.<sup>2</sup>, Adonin L. S.<sup>1</sup>, Mittenberg A. G.<sup>1</sup>, Shabelnikov S. B.<sup>1</sup>, Daugavet M. A.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: masana97@yandex.ru

In the present study two proteins participating in the tunic formation are described based on the example of ascidian *Styela rustica*. We suggest that p48 is an enzyme involved in the tunic proteins tunning and can regulate extracellular matrix organization, while repetin-like protein plays a role of phenol oxidase substrate.

## **Активность FGF-сигналинга при регенерации *Alitta virens***

*Шалаева А. Ю. \*, Козин В. В.*

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

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

При восстановлении утраченных частей тела у животных с эпиморфной регенерацией важная роль отведена контролю деления клеток, формирующих бластему, а также их дальнейшей дифференцировке. Для позвоночных животных известно, что одними из регуляторов пролиферации клеток в этом процессе выступают молекулы FGF. Однако на сегодняшний день не известно, выполняют ли они сходные функции у беспозвоночных животных. В связи с этим была поставлена цель исследования: установить вовлеченность FGF-сигналинга в процесс регенерации уannelиды *Alitta virens*.

Нами были установлены компоненты FGF-сигналинга и описана их пространственная экспрессия. Лиганд FGF8/17/18-N2 демонстрирует ярко выраженную экспрессию уже через 4 часа после ампутации (чпа) в отдельных клетках ганглиев брюшной нервной цепочки (БНЦ) и внутренних клетках, лежащих в полости тела по бокам от кишки. В течение первых двух дней регенерации менее выраженная экспрессия появляется в нейроэктодерме вблизи раны и в клетках бластемы, однако уровень сигнала очень невысок и ослабевает еще сильнее к последующим стадиям. Транскрипты рецептора FGFR1 также обнаруживаются уже через 4 чпа в отдельных клетках старых сегментов, расположенных между кишечным эпителием и стенкой тела. Такая экспрессия сохраняется и на более поздних стадиях, но к 2 дпа сигнал появляется в клетках формирующейся бластемы, оставаясь в дальнейшем во всей регенерационной почке, за исключением пигидия. Экспрессия второго паралога рецептора FGFR2 проявляет иную тканеспецифичность. Его экспрессия наблюдается через 4 чпа в клетках БНЦ. На стадии 1 дпа мРНК этого гена появляется в эктодермальной части раневого эпителия. На более поздних сроках экспрессия охватывает почти все клетки покровного эпителия регенерационной почки, появляются более яркие латеральные домены на границе с культей. Во внутренних бластемных клетках транскрипты FGFR2 удастся выявить, но с большим трудом.

Для подтверждения важности FGF-сигналинга на ранних стадиях регенерации животных помещали в раствор с одним из фармакологических ингибиторов (SU5402 или U0126). При инкубации животных в растворе сразу после ампутации на протяжении 7 дней наблюдалось полное подавление пролиферации клеток и, как следствие этого, отсутствие регенерационной почки. Также было установлено, что этот эффект обратим.

Таким образом, впервые для первичноротых получены доказательства очень ранней активации FGF-сигналинга при регенерации и его важности для инициации всего процесса. Также результаты позволяют предположить, что источником сигнала для регенерации могут быть поврежденная БНЦ и/или внутренние мезодермальные клетки прилежащих к ране сегментов.

*Работа выполнена на базе морской биологической станции СПбГУ (УНБ «Беломорская») при поддержке грантов РФФИ (17-14-01089) и РФФИ (20-34-70158).*

## **FGF signaling in regeneration of *Alitta virens***

*Shalaeva A. \*, Kozin V.*

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

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

FGF signaling in vertebrates is well known to have a crucial role in regeneration, but comparable data are missing for all invertebrates. In our study we show that FGF ligands and FGFRs are necessary for early stages of *Alitta virens* regeneration by demonstrating their spatiotemporal expression and inhibitor analysis.



## Some aspects of the normal embryonic development of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus*

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>

<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: katekondakova1989@gmail.com

The threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* is a popular model in the fields of environmental studies, population genetics and evolutionary biology. Now, it is the most numerous fish species in the White Sea. However, the data on the normal embryonic and postembryonic development of this species are incomplete. This study presents the new data on the development of particular definitive and temporary structures (Kupffer's vesicle, hypochord, yolk syncytial layer (YSL)) in embryos at the stages 16–21 (Swarup, 1958).

The embryos have been obtained by artificial fertilization at the Educational and Research Station Belomorskaya of St. Petersburg State University (Kandalaksha Bay, White Sea) in 2017. The eggs were reared at 12–15 °C. The material has been fixed with Bouin's solution, stored in 70° ethanol, embedded in paraplast with the use of celloidine-castor oil. The serial transverse and parasagittal cuts 6 µm thick were stained with Carazzi's hematoxylin and eosin (Biovitrum).

During stages 16–19 lumen formation in the digestive tract begins. The small lumens form in the gut primordium. The primordia of pharynx, esophagus and associated organs are seen. By the stages 20–21 the prolonged gut lumen is formed. The axial structures form from the tail bud. At the stages 20–21 erythrocytes are still not distinguished in blood vessels. The hypochord is distinguished with light microscopy at stages 16–19. The Kupffer's vesicle, the teleost laterality organ, is present at stages 16–19, and is separated from the YSL with cellular material.

The YSL is relatively thin. It is thickened ventrally and near the oil globules. As shown previously, the YSL cytoplasm contains very few eosinophilic yolk inclusions. The envelopment of oil globules by the YSL is incomplete. There are oil globules within yolk mass. The yolk syncytial nuclei are large and are of diverse shapes, but we have not observed nuclei of extreme shape complexity and giant size.

Thus, during the stages studied the important developmental processes take place, such as gut tubulogenesis and development of posterior axial structures. The cellular mechanism of gut tubulogenesis is probably the same as in other teleosts, but in threespine stickleback the gut lumen forms relatively early. The activity of yolk utilization during late embryogenesis is low, which is in accordance with data of literature dedicated to other teleost species.

*The authors thank the Centre for Molecular and Cell technologies of SPbU. The study was supported by grant from RFBR 18-04-01052.*

## О стабильности структуры макробентоса в юго-западной части Карского моря

Лисицына К. Н.<sup>1\*</sup>, Филиппова Н. А.<sup>1</sup>, Никишина Д. В.<sup>1</sup>, Шунатова Н. Н.<sup>2</sup>, Кийко О. А.<sup>3</sup>,

Герасимова А. В.<sup>1</sup>, Максимович Н. В.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> ЗАО «Экопроект», Санкт-Петербург

\* e-mail: lisitsina\_ksenia\_1997@mail.ru

Изучение донной биоты Карского моря насчитывает уже почти 100-летнюю историю. Однако в 2012–2013 гг. проведены наиболее подробные (за весь период инструментальных наблюдений) гидробиологические исследования в юго-западной части Карского моря, материалы которых легли основу представляемого сообщения, посвященного анализу особенностей современного распределения макробентоса данного района.

Материал был собран на 119 станциях на глубинах от 4 до 415 м в августе–сентябре 2012–2013 годов. Сбор бентоса произведен дночерпателем Ван-Вина с площадью пробоотбора 0,1 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. В каждой пробе пойманные организмы определены в большинстве случаев до вида, оценены их численность и биомасса. Анализ абиотических характеристик станций включал результаты океанографического зондирования (определение в придонном слое воды температуры, солености, содержания растворенного кислорода и pH) и оценку гранулометрического состава грунта. Сравнение станций по абиотическим и биотическим показателям проведено с помощью многомерных методов: кластерный анализ, многомерное шкалирование (MDS), Anosim, Simper. Для выявления абиотических характеристик, лучше всего объясняющих гетерогенность распределения макробентоса в анализируемом районе, была использована процедура BEST пакета Primer v. 6.

Большая часть изучаемого района занята илистыми грунтами — преобладали алевриты (в среднем 77 %) и мелкие пески (17 %). Гидролого-гидрохимические показатели придонных вод на станциях в принципе соответствовали характеристикам, известным по литературе для изучаемого района.

В пределах анализируемого полигона всего было обнаружено 428 таксонов донных беспозвоночных. Наибольшим разнообразием отличались многощетинковые, моллюски, ракообразные и мшанки. Средние показатели биомассы бентоса на станциях варьировали в пределах от 3 до 512 г/м<sup>2</sup>, что вполне соответствовало данным из более ранних публикаций. С помощью классификационных процедур в рассматриваемом районе выделено 17 сообществ макробентоса. Для многих из них количественные и качественные характеристики оказались близки литературным данным. Однако распределение описанных нами надвидовых группировок отличалось большей мозаичностью, и не обнаружены некоторые сообщества, занимающие прежде обширные акватории (например, сообщество относительно мелких офиур *Ophiocten sericeum*).

Маловероятно, что причины последнего обусловлены серьезными перестройками в структуре бентоса изучаемого района. Скорее расхождения в итогах работ могли быть связаны с различиями в методах сбора и обработки материала. Тем более что и выявленные нами наиболее значимые абиотические факторы по отношению к гетерогенности распределения макробентоса (процедура BEST) — глубина, соленость, характеристики донных отложений — оказались такими же, что и в работах прежних исследователей. По-видимому, можно признать, что состояние макробентоса изучаемого района в начале XXI века близко к долговременной норме.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60157. Искренняя благодарность всем участникам экспедиций 2012–2013 годов за собранный материал.

## About the stability of macrobenthos structure in the southwestern part of the Kara Sea

Lisitsina K. N.<sup>1\*</sup>, Filippova N. A.<sup>1</sup>, Nikishina D. V.<sup>1</sup>, Shunatova N. N.<sup>2</sup>, Kiyko O. A.<sup>3</sup>, Gerasimova A. V.<sup>1</sup>,

Maximovich N. V.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Environmental Consulting and Nature Protection Design Agency JSC ECOPROJECT, Saint Petersburg

\* e-mail: lisitsina\_ksenia\_1997@mail.ru

The work is devoted to the analysis of the distribution of macrobenthos in the south-western part of the Kara Sea at depths from 4 to 415 m (expeditions 2012–2013). At this stage of the investigations, there is no serious reason to talk about significant changes in the structure of the bottom biota of the area under consideration compared with previous studies.

## Фототрофные серобактерии оз. Большие Хрусломены (о. Олений, залив Ковда, Белое море)

Баранов И. А.<sup>1\*</sup>, Лунина О. Н.<sup>2</sup>, Груздев Д. С.<sup>3</sup>, Ранчин В. А.<sup>4</sup>, Краснова Е. Д.<sup>5</sup>, Кокрятская Н. М.<sup>6</sup>,  
Весполова Е. Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва

<sup>2</sup> ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского, Москва

<sup>3</sup> ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Институт биоинженерии, Москва

<sup>4</sup> ГБОУ города Москвы «Школа № 1553 им. В. И. Вернадского», Москва

<sup>5</sup> Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>6</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаврова РАН, Архангельск

\* e-mail: itisme2205@gmail.com

Озеро Большие Хрусломены (о. Олений, губа Ковда, пос. Лесозаводский, Кандалакшский залив Белого моря) является меромиктическим водоемом, через узкую протоку сообщаемся с морем. Начиная с глубины 4 м водная толща содержит сероводород, что явилось основанием для исследования верхнего слоя анаэробной зоны на предмет развития в нем аноксигенных фототрофных бактерий (АФБ). Исследование состава сообщества АФБ оз. Большие Хрусломены проводилось впервые.

Отбор проб воды для выделения АФБ производили в марте 2017 г. в глубокой котловине озера с помощью портативного насоса. Была измерена концентрация кислорода, сероводорода, проведены учет общей численности микроорганизмов и исследование состава пигментов озерной воды и выделенных бактерий. Для выделения и культивирования фототрофных серобактерий использовали модифицированную среду Пффеннига с соленостью 15 г/л NaCl.

Граница сероводородной зоны в период наших исследований находилась на глубине 3 м. Из хемоклина водной толщи было выделено 4 штамма серобактерий: GrKhr17, BrKhr17, AmKhr17, TcgKhr17. Все выделенные штаммы оказались галотолерантными мезофилами, хорошо растущими при околонейтральном pH. Штаммы зеленых серобактерий (зелено-окрашенный GrKhr-17 и коричнево-окрашенный BrKhr-17) содержали газовые вакуоли, заметно отличались друг от друга оптимумами солености и pH, и, несмотря на отсутствие в геномах Sox системы, отвечающей за окисление тиосульфата, росли только в присутствии тиосульфата. Эти штаммы показали 100 % сходства по гену 16S PНК между собой, а также с зелено-окрашенным тиосульфат-зависимым штаммом *Chlorobium phaeovibrioides* DSM 265. Геномы выделенных штаммов отличались между собой лишь наличием кластера, отвечающего за биосинтез пигментов коричнево-окрашенных серобактерий. Окенон-содержащий штамм AmKhr-17 оказался представителем пурпурных серобактерий рода *Thiocapsa* и имел 100 % сходства с окенон-содержащим штаммом AmPS10 из оз. Кисло-Сладкое, а также по 99 % сходства с типовыми штаммами: *T. roseopersicina*, *T. rosea*, *T. bogorovii* (содержат каротиноид спириллоксантин), *T. marina* (содержит каротиноид окенон). Окенон-содержащий штамм TcgKhr-17 имел 99 % сходства с типовым окенон-содержащим штаммом пурпурных серобактерий *Thiocystis gelatinosa*.

Сообщество АФБ оз. Большие Хрусломены включает как зеленых, так и пурпурных серобактерий, занимающих свои экологические ниши. Исследование оптимальных параметров роста выделенных культур фототрофных серобактерий показало наибольшую приспособленность зелено-окрашенного штамма GrKhr17 к гидрохимическим условиям среды обитания, с чем, по-видимому, прямо связано доминирование зелено-окрашенных ЗСБ в сообществе хемоклина оз. Большие Хрусломены.

## Phototrophic bacteria from lake Bolshie Hruslomeny (Kovda lip, White Sea)

Baranov I. A.<sup>1\*</sup>, Lunina O. N.<sup>2</sup>, Gruzdev D. S.<sup>3</sup>, Ranchin V. A.<sup>4</sup>, Krasnova E. D.<sup>5</sup>, Kokryatskaya N. M.<sup>6</sup>, Vespolova E. F.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> FRC "Fundamentals of Biotechnology" RAS, Winogradsky Institute of Microbiology, Moscow

<sup>3</sup> FRC "Fundamentals of Biotechnology" RAS, Center of Bioengineering, Moscow

<sup>4</sup> School No 1553 n. a. Vernadsky, Moscow

<sup>5</sup> Pertsov White Sea Biological Station, Biological faculty, Lomonosov Moscow State University

<sup>6</sup> Federal Center for Integrated Arctic Research of RAS, Arkhangelsk

\* e-mail: itisme2205@gmail.com

In 2017 from water samples of Bolshie Hruslomeny lake four different strains of anoxygenic phototrophic bacteria were extracted in monoculture. Further investigations, including genetic and physiological analysis, resulted in determining these strains. The green and brown strains were identified as *Chlorobium phaeovibrioides*. Third purple strain shows resemblance to *Thiocapsa roseopersicina*, *Thiocapsa rosea*, *Thiocapsa bogorovii* and *Thiocapsa marina*. Fourth purple strain was identified as *Thiocystis gelatinosa*.

## **Ультраструктура фуникулярных тел с симбионтами у мшанки *Dendrobeatia fruticosa* (Cheilostomata)**

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

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

Исследования, проводимые в последние 50 лет, выявили у целого ряда представителей типа Bryozoa наличие бактериальных симбионтов. Хотя значение бактерий в жизни мшанок еще до конца не понято, на примере хейлостомной мшанки *Bugula neritina* было показано, что их симбионты (а вернее, выделяемые ими вторичные метаболиты) обеспечивают повышенную выживаемость личинок.

Наша работа посвящена изучению особенностей строения особых структур (фуникулярных тел), образующихся в зооидах мшанок и служащих в качестве камер для их симбионтов. С использованием трансмиссионной электронной микроскопии мы смогли исследовать ультраструктуру нескольких фуникулярных тел у беломорской хейлостомной мшанки *Dendrobeatia fruticosa* и выявить целый ряд сходств и различий в их строении по сравнению с опубликованными данными по другим видам.

Как и у других видов мшанок, фуникулярные тела обнаружены в дистальной части аутозооидов. Они имеют овальную форму (60x20 мкм), и связаны с тяжами транспортной фуникулярной системы. Стенка фуникулярного тела представлена двумя слоями клеток. Внешний слой состоит из уплощенных клеток, образующих своего рода капсулу. В свою очередь внутренний клеточный слой представлен различающимися по высоте призматическими клетками, окружающими полость, в которой и локализуются симбионты. Различия клеток по высоте обуславливают разделение данной полости на отделы (лакуны). Кроме того, от призматических клеток в полость фуникулярного тела вдаются множественные тонкие микровилярные выросты, окружающие бактерий. Фуникулярное тело всегда соединено с фуникулярными тяжами, причем сам по себе характер связи напоминает «обрастание» тела клетками тяжа.

О взаимоотношениях между симбионтами и зооидом на данный момент можно судить лишь косвенно. Так на ряде снимков обнаруживаются отчетливые впячивания мембраны призматических клеток, соответствующие эндо/экзоцитозу. Также данные клетки обладают весьма развитым шероховатым ЭПР, в их ядрах наблюдается дисперсное распределение хроматина и присутствуют множественные аппараты Гольджи. Это, в целом, указывает на процессы активного синтеза и, вероятно, экзоцитоза продуктов синтеза в полость фуникулярного тела. С другой стороны, нередко встречаются мультивезикулярные тела. На данный момент нельзя точно определить, в каких процессах они участвуют, однако можно предположить, что они участвуют в процессах транспорта бактериальных метаболитов из полости фуникулярного тела в его клетки. Таким образом, можно предположить, что фуникулярные тела являются некими «инкубаторами», в которых осуществляется размножение симбионтов. Фуникулярные клетки синтезируют и поставляют необходимые для этого питательные вещества, удаляя при этом метаболиты бактерий.

Ясно, что строение и функционирование данной структуры требует дальнейшего изучения, но уже сейчас накопленные данные позволяют осуществлять сравнения между аналогичными органами, имеющимися у других видов мшанок.

## **Ultrastructure of the funicular bodies with symbionts in the bryozoan *Dendrobeatia fruticosa* (Cheilostomata)**

*Bogdanov E. A. \*, Vishnyakov A. E., Ostrovsky A. N.*

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

Studies of the last 50 years have detected bacterial symbionts in the bryozoan species from several distant clades. Our research was focused on the ultrastructure of so-called funicular bodies in *Dendrobeatia fruticosa* (Bugulidae) to reveal any differences and similarities with these bodies in other bryozoan species.

## Общая и микроскопическая анатомия кнidosаков *Coryphella verrucosa* (M. Sars, 1829)

### (Gastropoda: Nudibranchia)

Чихун А. О.<sup>1\*</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>, Екимова И. А.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

\* e-mail: anastasiachikhun@gmail.com

Голожаберные моллюски Nudibranchia — эволюционно продвинутая группа морских брюхоногих моллюсков, насчитывающая более 4000 видов. Крайне интересной особенностью некоторых семейств голожаберных моллюсков является способность к клептокнидии, т. е. отбору и использованию стрекательных капсул их объектов питания — разнообразных Cnidaria. Отобранные капсулы (клептокниды) накапливаются в особых структурах (кнidosаках) на вершинах спинных выростов моллюсков — церат, или папилл. Несмотря на то, что этот процесс был открыт в середине XIX века, данные по общему строению кнidosака противоречивы, а динамика процесса и особенности ультраструктуры кнidosаков остаются слабо изученными.

Целью нашей работы было изучение анатомии и ультраструктуры кнidosака *Coryphella verrucosa* (M. Sars, 1829). Данный вид характеризуется крайне широким спектром питания, в который входят гидроидные и сцифоидные кишечнополостные, имеющие принципиально разный набор стрекательных капсул. Отрывочные исследования строения кнidosаков этого объекта свидетельствуют в пользу крайне специфичного отбора именно тех типов нематоцист, которые являются общими для всех видов жертв. Однако, процесс селекции и отбора нематоцист на разных стадиях питания остается не изученным. Кроме того, данные по количеству и морфологии самих кнidosаков крайне противоречивы. Для изучения общей морфологии и ультраструктуры нами был применен широкий спектр методов, включающий световую микроскопию, трансмиссионную и сканирующую электронную микроскопию, конфокальную лазерную микроскопию.

Снаружи церата покрыта эпидермисом с островками ресничек, в клетках которого в обилии содержатся вакуоли с хитиновыми веретенами. Кнidosак располагается на вершине цераты и представляет собой продолжение пищеварительной железы, окруженное мощными слоями кольцевой и продольной мускулатуры. Он подразделяется на три четкие зоны, различающиеся по функциям: зона сфинктера, зона книдофагов и апикальная зона. Просвет кнidosака заполнен электронно-плотным веществом, природу которого предстоит установить. В зоне сфинктера имеется мышечное кольцо и канал, который покрыт ресничным эпителием. В просвете сфинктера располагаются не только клетки, содержащие нематоцисты, но и отдельные нематоцисты в самом ресничном канале. Эпителий зоны книдофагов содержит крупные нересничные клетки (книдофаги), в цитоплазме которых находятся клептокниды. В этой зоне отчетливо видны нервные волокна. Нервные элементы в папилле организованы в виде сети. Интерстициальных клеток, характерных для кнidosаков других видов голожаберных моллюсков, обнаружено не было. На самой вершине апикальной зоны кнidosака выстрелившей папиллы образуется временный разрыв в виде воронки — книдопор. Дальнейшие исследования, проводимые в этом направлении, позволят пролить свет на эволюцию процесса отбора стрекательных капсул и механизм их селекции.

## General and microscopic cnidosac anatomy of *Coryphella verrucosa* (M. Sars, 1829)

### (Gastropoda: Nudibranchia)

Chikhun A.<sup>1\*</sup>, Mirolubov A.<sup>2</sup>, Ekimova I.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

\* e-mail: anastasiachikhun@gmail.com

Nudibranch mollusks are an evolutionarily advanced group of marine gastropods with more than 4,000 species. A fascinating feature of some families of nudibranch mollusks is kleptocnidy, i.e. the acquisition and use of nematocysts of their prey — a variety of Cnidaria. Acquired nematocysts are stored in muscular bundles — cnidosacs. Data on the general structure of cnidosacs are contradictory, and such aspects as the acquisition process and the ultrastructure of cnidosacs remain poorly studied. The aim of our work was to study the cnidosac anatomy and ultrastructure of *Coryphella verrucosa* (M. Sars, 1829).

## Особенности взаимодействия *Sacculina pilosella* (Cirripedia: Rhizocephala)

### с нервной системой хозяина

Лянгузова А. Д.<sup>1\*</sup>, Илюткин С. А.<sup>1</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Арбузова Н. А.<sup>1</sup>, Нестеренко М. А.<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: reinhardtlennon@gmail.com

Корнеголовые раки, или Rhizocephala — группа высоко специализированных паразитов других ракообразных. Перейдя к паразитическому образу жизни, представители данного таксона утратили практически все черты, присущие их свободноживущим родственникам. Тело взрослой самки не наследуют никаких систем органов, принадлежащих предыдущей стадии жизненного цикла; оно подразделяется на две функциональные части: интерну, представляющую собой систему столонов, расположенных в гемолимфе хозяина, и экстерну — репродуктивное тело, находящееся во внешней среде и связанное с интерной стебельком.

Одной из наиболее интересных областей в изучении представителей Rhizocephala являются их взаимоотношения с хозяевами (в большинстве — Decapoda). Паразит берет под контроль практически все аспекты жизни хозяина: линочный цикл, физиологию, поведение. Rhizocephala влияют на репродукцию хозяев (стерилизация) и их распространение (миграции в места с более подходящей для паразита соленостью).

Благодаря чему корнеголовым ракам удается достичь всего этого? Мы считаем, что важнейшим аспектом в этих паразит-хозяинных отношениях является взаимодействие с нервной тканью хозяина. Раннее сайты такого взаимодействия были найдены у представителей сем. Peltogastridae и Peltogasterellidae.

В рамках настоящей работы мы решили уделить внимание более подробной характеристике морфологии сайтов контакта корнеголовых раков с нервной системой хозяина. На примере *Sacculina pilosella* (сем. Sacculinidae) было показано, что столоны паразита проникают непосредственно внутрь ганглия краба *Pugettia quadridens*. Также было выявлено, что столоны могут располагаться внутри комиссур и нервных стволов хозяина и продолжаться внутри них на достаточно большие расстояния. Столоны могут находиться как на периферии, так и в центре ганглионарной массы. Некоторые столоны, находящиеся на периферии ганглия, формируют особые структуры — бокаловидные органы.

Бокаловидные органы — это чашеподобные образования, в углублении которых располагается столбчатый эпителий. Вероятно, именно в этом месте происходит выделение тех или иных нейроактивных соединений в ганглий хозяина. Внутри бокаловидного органа происходит локальное изменение нервной ткани хозяина.

Кутикула *Sacculina pilosella* отличается от таковой у других представителей корнеголовых раков. Кроме того, ее строение различно у столонов, которые не контактируют с нервной системой, и у столонов, находящихся внутри нервной ткани. Обработка антителами к серотонину показала, что по ходу столона паразита внутри ганглия хозяина располагаются серотонин-содержащие структуры, природа которых до конца не ясна. Мы предполагаем, что серотонин является одним из медиаторов, которыми корнеголовые раки обеспечивают своего хозяина, вследствие чего и наблюдаются изменения в их поведении (например, снижение уровня агрессии).

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 18-34-00727.*

## Peculiarities of the interaction of *Sacculina pilosella* (Rhizocephala: Sacculinidae)

### with the nervous system of the host

Lianguzova A. D.<sup>1\*</sup>, Ilyutkin S. A.<sup>1</sup>, Lapshin N. E.<sup>1</sup>, Arbusova N. A.<sup>1</sup>, Nesterenko M. A.<sup>1</sup>, Miroljubov A. A.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: reinhardtlennon@gmail.com

The study of the interactions between *Sacculina pilosella* (Crustacea: Rhizocephala) and its host's nervous system paves the way to understanding the mechanisms of the parasite impact on the host. Parasite rootlets penetrate the ganglion and form specific sites of interaction — goblet-shaped organs which have been studied in this work.

## **Личинки *Nymphon grossipes*: взгляд изнутри (Chelicerata: Pycnogonida)**

Алексеева Н. В.<sup>1\*</sup>, Демидов Д. А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, кафедра физики твердого тела, Санкт-Петербург

\* e-mail: nina.alexeyeva.spb@gmail.com

Пикногониды — это филогенетически обособленная группа морских хелицероных, родственная остальным Euchelicerata. Как правило, из яйца у пикногонид выходит базовый четырехсегментный протонимфон (БЧП), активно питающийся, обладающий хоботком, хелифорами, и двумя парами личиночных ног. У ряда пикногонид неоднократно происходит переход к лецитотрофии. Неизвестно, какие особенности организации имеются у подобных личинок.

Самцы *Nymphon grossipes* с личинками собраны в окрестностях о. Средний (Белое море, Канда拉克шская губа). Личинки анестезированы и обработаны по стандартным протоколам для световой микроскопии.

Личинка *N. grossipes* заметно крупнее БЧП, длина тела достигает 500 мкм. Помимо характерных для БЧП придатков имеются почки первой пары ходных ног (ХН1). Тело включает шесть посткокулярных сегментов, пусть последние два еще и не имеют придатков, но их ганглии уже сформированы. Личинки *N. grossipes* внешне напоминают БЧП, однако ими уже не являются, обозначены нами как протонимфон-подобные (ППЛ). Они в отличие от БЧП не покидают самца, а остаются на нем очень долго, почти весь анаморфоз.

Столь разнообразный у БЧП железистый аппарат у ППЛ *N. grossipes* модифицирован. Железы хоботка и прядильные железы гипертрофированы, железы клешней отсутствуют. Мы полагаем, что к этому привел малоподвижный образ жизни и лецитотрофный тип питания.

Пищеварительная система замкнутая, имеется только передняя и средняя кишка. Передняя кишка снабжена цедильным аппаратом, что удивительно для непитающихся перорально личинок. Средняя кишка включает мешковидный центральный канал, дивертикулы хелифор и ХН1. Развитие дивертикул происходит с задержкой. В клетках средней кишки сосредоточен запас желтка, за счет которого будет протекать дальнейшее развитие. Нервная система у *N. grossipes* более продвинутая, что выражается в наличии нейромеров ХН2-3, тогда как у БЧП брюшная нервная цепочка заканчивается нейромером ХН1. Также у ППЛ уже имеется обе пары глаз, тогда как у БЧП — только одна пара. Полость тела у *N. grossipes* отсутствует, занята огромной средней кишкой, у БЧП напротив пространство между внутренними органами и стенкой тела выражено.

Таким образом, у ППЛ имеется целый спектр адаптаций, объясняющийся преимущественно спецификой их образа жизни. Их понимание конкретизирует начальные этапы формирования лецитотрофии у Chelicerata. По всей видимости, переход к лецитотрофии происходит постепенно, приводя в результате к эмбрионизации, что мы наблюдаем у Euchelicerata.

*Исследование поддержано грантом РФФИ (проект № 18-34-00611) и выполнено на базе ресурсных центров СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Обсерватория экологической безопасности».*

## **Larva of *Nymphon grossipes*: inside look (Chelicerata: Pycnogonida)**

Alexeeva N.<sup>1\*</sup>, Demidov D.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Faculty of Physics and Technology, Saint Petersburg

\* e-mail: nina.alexeyeva.spb@gmail.com

Lecithotrophy is a common phenomenon in the animal world, particularly in chelicerates. Even pycnogonids, the most basal branch of Chelicerata, had already transitioned to lecithotrophy. Thus, the study of this phenomenon in sea spiders may prove extremely valuable for a more general reconstruction of the lecithotrophic lifestyle.

# ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

## ЭКОЛОГИЯ

### Методическая точность и воспроизводимость бентосных исследований

#### в проливе Великая Салма в 2016 и 2019 гг.

Осипова Д. Д.<sup>1\*</sup>, Кокорин А. И.<sup>2</sup>, Мельников Н. П.<sup>1</sup>, Пименов Т. П.<sup>1</sup>, Кудрявкина А. И.<sup>1</sup>,  
Маргарит А. А.<sup>1</sup>, Ратновская А. В.<sup>1</sup>, Федоров Д. А.<sup>1</sup>, Белоусова Е. В.<sup>1</sup>, Батрина Д. А.<sup>1</sup>,  
Дгебуадзе П. Ю.<sup>3</sup>, Цетлин А. Б.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Центр Морских исследований МГУ, Москва

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва

\* e-mail: elkdarja@gmail.com

При проведении мониторинговых исследований бентосных сообществ важным методическим вопросом является возможность сопоставления данных, полученных разными исследовательскими группами. В ходе полевой студенческой практики 2019 года мы имели возможность проанализировать пробы на тех же точках, которые были использованы в ходе масштабной бентосной съемки в 2016 году (Terekhina et al., 2020). Результаты 2016 года были приняты за эталонные, т. к. определение в большинстве случаев производилось ведущими специалистами по группам.

Выходы в море на исследуемые станции осуществлялись на НИС «Профессор Зенкевич». Количественные пробы отбирали при помощи дночерпателей Дея и Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup> в двух (2019) или трех (2016) повторностях на каждой станции. Обработка проб производилась в стационарной лаборатории с определением животных преимущественно до вида и определением сырой массы до 0,01 г.

Подсчет числа выявленных видов в пробах показал, что на двух станциях нами было выделено, в среднем, на 25,5 видов меньше, чем в 2016 году. Причиной подобного результата отчасти является меньшее число проб на каждой станции, по сравнению с 2016 годом. Анализ полученных результатов путем сопоставления доминирующих видов, а также методом многомерного шкалирования (MDS) с использованием коэффициента Брея-Кертисса показал высокую согласованность результатов двух съемок, при анализе всего массива данных точки были отнесены к тем же сообществам, что и в 2016 году. Несколько отличался состав бентоса на точках 3-1-19 и PZ-II 3-1, что может быть связано с бурным развитием молодежи моллюска *Astarte montagui* в 2019 году. В то же время кластерный анализ с использованием меры Жаккара демонстрирует высокую степень сходства между собой точек, проанализированных нами в 2019 году, что, по всей видимости, объясняется влиянием рабочего коллектива.

Таким образом, несмотря на то, что определение в 2019 году производилось менее квалифицированным коллективом (хотя и с учетом консультаций участников работ 2016 года) и видовые списки животных на станциях 2019 года характеризуются высоким сходством, этот фактор, а также меньшее число проб на станции, не оказался препятствием для выделения основных сообществ. Хотя это и повлекло за собой потерю единично встречающихся видов. Существенных изменений в видовом составе за три года не произошло, что говорит о меньшем влиянии временного распределения на горизонте в 3 года в сравнении с пространственным.

### Accuracy and reproducibility of benthic studies conducted in 2016 and 2019 in Velikaya Salma strait

Osipova D. D.<sup>1\*</sup>, Kokorin A. I.<sup>2</sup>, Melnikov N. P.<sup>1</sup>, Pimenov T. P.<sup>1</sup>, Kudryavkina A. I.<sup>1</sup>, Margarit A. A.<sup>1</sup>, Ratnovskaya A. V.<sup>1</sup>,  
Fedorov D. A.<sup>1</sup>, Belousova E. V.<sup>1</sup>, Batrina D. A.<sup>1</sup>, Dgebuadze P. Y.<sup>3</sup>, Tzetlin A. B.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> LMSU Marine Research Center, Moscow

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow

\* e-mail: elkdarja@gmail.com

Accuracy and reproducibility are essential for benthic studies in the ocean. Two benthic samplings (conducted in 2016 and 2019) were compared. The results obtained show that there was no major change in benthic community structure, which indicates a lesser significance of the temporal difference, in comparison with the spatial one.



## Разнообразие микроскопических грибов, колонизаторов древесины, в Арктике

(на примере арх. Шпицберген)

Лукина Е. Г.<sup>1\*</sup>, Ильюшин В. А.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

\* e-mail: elizaveta121999@mail.ru

Микроскопические грибы составляют значительную часть биоразнообразия Арктического региона и играют огромную роль в функционировании его экосистем. Микромицеты являются колонизаторами различных субстратов в Арктике. Особым аспектом исследований является развитие микроскопических грибов на древесных субстратах. Нами были проведены исследования комплексов микромицетов, выделенных из древесины (1) плавника (2) строительных материалов.

Целью нашего исследования являлось изучение комплексов микроскопических грибов на древесных субстратах в Арктических регионах на примере Архипелага Шпицберген и определение их адаптационного потенциала к условиям высокой Арктики. В задачи работы входило исследование видового состава микроскопических грибов и изучение ферментативной активности выделенных микромицетов (амилазной, целлюлазной, лигнинолитической).

Образцы древесины для микологического исследования были собраны в ходе экспедиционных работ на архипелаге Шпицберген в районе пос. Баренцбург и Грумант в течение летних сезонов 2017–2019 гг. Для лабораторных исследований было отобрано 29 образцов древесины. Для выделения микроскопических грибов были использованы следующие среды: среда Чапека, среда Чапека с 5,5 % NaCl и минеральная среда с целлюлозой. Инкубация проводилась при температурах 3–5 °С и 20–22 °С. Далее колонии подсчитывались и выделялись в чистую культуру. Определение микроскопических грибов проводилось на основании культурально-морфологических и молекулярных методов. Для изучения ферментативной активности микромицетов использовались специальные соответствующие среды.

В результате проведенных исследований было получено 856 колоний, всего было выделено 92 чистых культур микроскопических грибов. Полученные изоляты были идентифицированы как 36 видов микроскопических грибов. Доминировали виды *Pseudogymnoascus pannorum*, *Penicillium lanosum*, *Cladosporium herbarum*. Наибольшее число видов относилось к роду *Penicillium*, который был представлен 9 видами. Остальные роды насчитывали по 1–2 вида. Наличие амилазной активности было показано у 66 % изолятов; лигнинолитической активности — у 26 % изолятов; целлюлазной активности — у 49 % изолятов.

Таким образом, наши исследования показали наличие и активное развитие микроскопических грибов на древесине в Арктических регионах. Большая часть видового состава, несомненно, является аборигенной, и доминирует как на древесине плавника, так и в естественных почвах и водной среде в районе Шпицбергена, однако некоторые виды родов *Alternaria*, *Cephalotrichum*, *Exophiala* можно рассматривать как инвазивные. Психротрофность или широкая амплитуда температур, при которых возможно развитие данных видов, а также их ферментативный аппарат способствовали развитию данных видов микромицетов на древесных субстратах в условиях Арктики.

## Diversity of microfungi of lumber wood colonizers through the example of the Svalbard archipelago

Lukina E. G.<sup>1\*</sup>, Iliushin V. A.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (BIN RAS), Saint Petersburg

\* e-mail: elizaveta121999@mail.ru

We have examined the complexes of microfungi on wood substrates of the Arctic region of the Svalbard archipelago. Isolates from the wood samples were identified by cultural-morphological and molecular methods. Amylase, ligninolytic and cellulase activity were evaluated. Our studies have shown the presence and active development of microfungi on the wood of the Arctic region, as well as their adaptations to the Arctic conditions.

## Response of planktonic copepods to salinity change in acute and chronic experiments

Ivankovich Yu. V.<sup>1\*</sup>, Martynova D. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dmitrov Fish-Industry Technological Institute, Moscow Oblast

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

\* e-mail: yuriivankovich@gmail.com

In the White Sea, planktonic copepods of genera *Calanus* and *Pseudocalanus* are usually not considered as tolerant to the water salinity decrease. However, the life cycle of these species includes active feeding during the spring ice melting, when a large part of their food sources is concentrated in the upper water layer characterized by salinity less than 20 psu. In order to study if these copepods can use food-rich freshened water layers to get enough energy for growth and reproduction, a series of pilot experiments have been performed in 2019, including chronic and acute ones. The copepod mortality has been analyzed at 25 psu (control), 18 psu and 15 psu (experiment). The experiments have been performed at 4 °C and 1 % PAR (twilight zone). Three different experimental schemes have been applied: (no. 1) gradual dilution from 25 psu down to 18/15 psu during five days; (no. 2) gradual dilution from 25 psu down to 18/15 psu at 0h, 1h, 3h, 6h, and 12h (checking at 0h, 1h, 3h, 6h, 12h, and 24h); (no. 3) acute dilution from 25 psu down to 18/15 psu at 0h, checking at 0h, 1h, 3h, 6h, 12h, and 24h. Surprisingly, both species stood the salinity decrease with minor mortality rates ranging from 0 up to  $1.1 \pm 0.2$  % in short-term 24-h experiments (nos. 2, 3). The mortality rate was the highest after 6 days of gradual water freshening down to 15 psu ( $12.1 \pm 1.8$  %), while the mortality rate was half as much in control vials (25 psu) and at 18 psu ( $6.4 \pm 0.6$  % and  $6.9 \pm 0.5$  %, respectively). The question of handling effect in long-term experiments thus remains open. The data obtained allowed us to develop adjusted experimental scheme in order to search for the mechanism(s) of salinity tolerance in these copepods.

*The study is supported by the ongoing Basic Research Program of the Russian Academy of Sciences “Dynamics of structure and functioning of the ecosystems of the White Sea and adjacent Arctic seas” (registration no. AAAA-A19-119022690122-5).*

## Суточная динамика вертикального распределения зоопланктона оз. Могильное

(о. Кильдин, Баренцево море)

Громова А. Д. \*, Стогов И. А., Мовчан Е. А., Стрелков П. П.

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

Озеро Могильное — это уникальный меромиктический водоем, расположенный на острове Кильдин (Баренцево море). Работы по его изучению проводятся уже более ста лет и были продолжены нами в 2018–2019 гг. во время совместной комплексной экспедиции МГУ, МАГУ и СПбГУ при поддержке Российского Географического общества. В результате ранее проведенных исследований было установлено, что зоопланктон вблизи поверхности имеет ротаторно-кладоцерный состав, в слое 3–8 метров — копеподно-нектохетный, при полном отсутствии планктонных организмов ниже слоя «розовой» воды на глубинах свыше 8–9 м.

14–15 июня 2019 г. на центральной станции М-2 от поверхности до слоя «розовой воды» на 8 м каждые 3 часа были через каждый метр насосным методом собраны 72 пробы зоопланктона для оценки суточной динамики зоопланктона, а также 50 проб на 6 станциях на траверсе от М-2 к перемычке, отделяющей озеро Могильное от Кильдинской Салмы, для оценки пространственного распределения планктонных организмов. Каждая проба получена фильтрацией 40–50 л воды через планктонное сито ячейей около 100 мкм, фиксация формалином до 4 %-ной концентрации в пробе, обработка проведена под бинокуляром Микромед МС-2-Zoom при увеличении 10–40 х.

На станциях с глубинами 12–15 м количество доминирующих в планктоне копепод *Pseudocalanus acuspes* составило 11–38 тыс. экз./м<sup>3</sup> в слое 3–6 м с максимумами на глубинах 3 м и 5–6 м. На наиболее удаленной от перемычки станции с глубиной около 5 м наибольшее количество псевдокалянусов было отмечено на глубинах 3–4 м (13–14 тыс. экз./м<sup>3</sup>) при несколько меньшем количестве (11 тыс. экз./м<sup>3</sup>) в придонном слое на глубине 5 м.

В течение суток распределение планктонных беспозвоночных на станции М-2 было сходным — на глубинах 3 и 6 м количество *P. acuspes* было максимальным. При этом наибольшее количество рачков в слое 3–6 м колебалось в течение суток в диапазоне от 13,4–14,0 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 19,2–24,8 тыс. экз./м<sup>3</sup>, имея 12-часовой период между максимумами. Эти изменения численности, скорее всего, связаны с приливно-отливными колебаниями уровня воды, которые выражены и в озере Могильном.

*Работа выполнена при поддержке Российского Географического общества, грант 13/2018-Р.*

## Daily dynamics of vertical distribution of zooplankton of Mogilnoe Lake (Kildin Island, Barents Sea)

Gromova A. D. \*, Stogov I. A., Movchan E. A., Strelkov P. P.

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

On 14–15 June 2019 at stations of Mogilnoe Lake with depths of 12–15 m the quantity of *Pseudocalanus acuspes* was 11–38 thousand ind./m<sup>3</sup> in a layer of 3–6 m. At the station with depth about 5 m the greatest number of *P. acuspes* was noted at depths of 3–4 m (13–14 thousand ind./m<sup>3</sup>) with a slightly smaller amount (11 thousand ind./m<sup>3</sup>) in the bottom layer at a depth of 5 m.

During the day, the distribution of plankton invertebrates was similar — at depths between 3 and 6 m, the number of *P. acuspes* was maximal. At the same time the largest number of copepods in the layer 3–6 m fluctuated during the day in the range from 13.4–14.0 to 19.2–24.8 thousand ind./m<sup>3</sup>, having a 12-hour period between maxima. These changes in numbers are likely due to tidal water level fluctuations, which are also pronounced in Mogilnoe Lake.

## **Изучение структуры литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ Баренцева моря**

*Булавинова В. И.<sup>1\*</sup>, Унтилова А. А.<sup>1</sup>, Дюмина А. В.<sup>2</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

\* e-mail: v.bulavinowa@yandex.ru

На сегодняшний день видовое разнообразие гидробионтов литорали Баренцева моря, в частности, района биостанции ММБИ, описано неполно; исследования ведутся, в основном, в сублиторали. Данные по литоральным сообществам в районе биостанции НИС ММБИ КНЦ РАН «Дальние Зеленцы» с 1948 года обобщены в единственной работе Генельта-Яновского и соавторов. В районе биостанции находится два затишных, частично изолированных от открытого моря залива — губы Ярнышная и Дальнезеленецкая. Условия среды здесь сильно отличаются от литорали, выходящей к открытому морю. Грунт в Дальнезеленецкой губе представляет собой россыпь крупных валунов и песок. Дно Ярнышной губы покрыто более мелкими валунами, между которыми — россыпь мелкого гравия и битой ракуши. Губа Дальнезеленецкая представляет собой своеобразную модельную экосистему, отражающую существование литоральных сообществ Мурмана в целом.

Цель нашей работы составляет изучение связи структуры литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ от условий среды и распределения доминирующих по биомассе видов в разных горизонтах литорали.

Для описания структуры литоральных сообществ было взято 8 серий проб методом пробных площадок из нескольких горизонтов, выявленных с помощью закладки трансект. Проведена полная количественная разборка проб. В каждом сайте были взяты пробы воды для анализа гидрохимических характеристик.

В результате нашей работы выявлена зависимость структуры бентосных литоральных сообществ от солености, pH, характера грунта и прибойности. Проведен сравнительный анализ данных за 2018 и 2019 год. Построена карта горизонтов Ярнышной губы. Построена предполагаемая трофическая сеть бентосных литоральных сообществ Ярнышной и Дальнезеленецкой губ для каждого из сайтов.

## **The study of the structure of littoral communities of Yarnyshnaya and Dalnezelenetskaya bays of the Barents Sea**

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

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

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

\* e-mail: v.bulavinowa@yandex.ru

We have studied the dependence of the structure of littoral communities on salinity, pH, ground and exposure. We tried to establish whether any patterns of dominant species distribution among horizontal zones of the littoral exist. The map of horizontal dominant species distribution was built for Yarnyshnaya bay. Also we described possible food web of benthic littoral Yarnyshnaya and Dalnezelenetskaya bays.

## Сообщества прибрежных рыб Кандалакшского залива Белого моря в разных биотопах

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

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

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

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

Данная работа направлена на изучение сообществ рыб в различных прибрежных местообитаниях. Полевые работы проводились в Кандалакшском заливе Белого моря летом 2019 г. (июнь и август) на 11 станциях. Для каждой станции путем надводных и подводных наблюдений определяли прибойность, уклон дна, тип грунта, состав и плотность подводной растительности. На основании этих данных были выделены 4 типа биотопов: (1) заросли zostеры на песчаном грунте; (2) заросли zostеры на илисто-песчаном грунте; (3) заросли фукоидов на каменистом грунте; (4) скалы. Лов рыб проводился набором из 4 жаберных сетей с размером ячеей от 16 до 40 мм. У массовых видов измеряли длину тела, определяли пол и возраст.

Всего было изучено 1470 экземпляров рыб, принадлежащих 18 видам и 11 семействам. Чаще всего встречались европейская навага *Eleginus nawaga* (510 экз.), европейский керчак *Muchocephalus scorpius* (379 экз.) и атлантическая треска *Gadus morhua* (225 экз.). Улов на единицу промыслового усилия в августе был в 1,7 раз выше, чем в июне, что, по-видимому, объясняется более активным поведением рыб в период нагула перед предстоящей зимовкой. Расчет индекса Шеннона показал, что наибольшее видовое разнообразие отмечается в зарослях zostеры на илистом грунте (1,92), а наименьшее — в скальном биотопе (1,28). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что распределение рыб в прибрежной зоне в летнее время характеризуется существенной неоднородностью: большое количество подводной растительности и неоднородный рельеф способствуют высокой гетерогенности среды обитания, что привлекает большее количество беспозвоночных и небольших рыб (в первую очередь трехиглой колюшки) — основных кормовых объектов прибрежных рыб.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-04-01052А «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и прибрежья Белого моря».

## Coastal fish assemblages in different biotopes of Kandalaksha Bay, White Sea

Nadtochii E.<sup>1\*</sup>, Smirnova K.<sup>2</sup>, Zelenskaia A.<sup>2</sup>, Ivanov M.<sup>2</sup>, Ivanova T.<sup>2</sup>, Lajus D.<sup>2</sup>

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

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

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

This study aims to investigate assemblages of coastal fishes in the Kandalaksha Bay, White Sea and in different habitats. Surveys took place in June and August 2019 and results have shown heterogeneity in fish community distribution patterns.

## Питание Беломорской сельди (*Clupea pallasii marisalbi*) в летний период

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

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

Беломорская сельдь (*Clupea pallasii marisalbi*) — массовый пелагический вид, встречающийся в Белом море и прилегающих районах Баренцева. Будучи одним из немногих планктофагов Белого моря, она имеет огромное значение для экосистемы, поедая планктон, и образуя вместе с трехиглой колюшкой так называемую «осиную талию» экосистемы, через которую происходит передача энергии с низших трофических уровней на более высокие. Целью работы было сравнить питание сельди в летний период за июнь и август, а также обобщить результаты за разные годы.

Материал для данной работы был собран в 2015 и 2017–2019 гг. на Учебно-научной базе СПбГУ «Беломорская» на 10 точках в различных биотопах жаберными сетями с ячейей 16 и 20 мм. У рыб была измерена длина, взята чешуя для определения возраста, определен пол, стадия зрелости гонад, а также вес без внутренностей. Желудки были зафиксированы 4 % раствором формальдегида. Определение организмов, содержащихся в желудке, было осуществлено до наименьшего возможного таксона. Всего было обработано 137 рыб в 2019 году, 61 в 2018, 47 в 2017 и 273 в 2015.

В желудках сельди были обнаружены организмы, принадлежащие к 51 таксону. 51 % массы пищевых комков составили рыбы (28 % — мойва (*Mallotus villosus*), встреченная только в июне 2019 года и только на двух станциях), 21 % — Euphysiidae, по 7 % — представители таксонов Nuperiidae и Polychaeta, и всего 5 % — представители отряда Copepoda. В июне по массе доминировала мойва (*Mallotus villosus*), и представители таксонов Nuperiidae и Copepoda. В августе доминировала молодь трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*), представители таксонов Polychaeta и Euphysiidae. Наибольшие массы были встречены в точках Юшковка и губа Лебяжья (за счет мойвы в июне 2019, и губы Сельдяная и Яковлева (за счет молоди колюшки в августе). По результатам можно заключить, что в летний период планктонные организмы составляют относительно небольшой процент пищи сельди, а большую часть составляют крупные организмы, такие как молодь колюшки в августе. Питаясь широким диапазоном организмов, сельдь может эффективно осуществлять перенос энергии в результате своих миграций.

Данная работа поддержана грантом РФФИ 19-14-00092 «Осиная талия» экосистем северных морей: долговременная динамика, популяционная структура и трофические связи массовых пелагических рыб Белого и Балтийского морей», а также грантом РФФИ №18-04-01052 А «Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* как связующее звено между сообществами открытого моря и побережья Белого моря». Авторы выражают благодарность администрации УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность проведения научной работы на Белом море.

## Feeding of the White Sea herring (*Clupea pallasii marisalbi*) during the summer period

Smirnova K. A. \*, Nadtochiy E. V., Zelenskaya A. E., Demchuk A. S., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Lajus D.L.

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

White Sea herring (*Clupea pallasii marisalbi*) is a common pelagic species and one of the few plankton feeders of the White Sea. We compared the diets of herring in 2015 and 2017–2019. A total of 51 taxa has been identified, and over 50 % of organisms by mass were fish.

## Динамика численности трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* на нерестилищах

Савельев П. Д.<sup>1\*</sup>, Паницина В. А.<sup>1</sup>, Генельт-Яновский Е. А.<sup>2</sup>, Иванов М. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, кафедра ихтиологии и гидробиологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Зоологический Институт РАН, лаборатория териологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: ananasovnet11@gmail.com

Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* — один из наиболее массовых видов рыб в Белом море. Ежегодно в первой половине лета *G. aculeatus* подходит в прибрежную зону на нерест, при этом затишные акватории с плотными зарослями морской травы *Zostera marina* являются наиболее благоприятными нерестовыми участками для данного вида рыб. В этот короткий период времени колюшка преобладает в спектрах питания более крупных видов рыб, например трески *Gadus morhua*, а также таких птиц как гагары *Gavia arctica* и крохали *Mergus serrator*. Во время нереста для *G. aculeatus* характерна внутривидовая конкуренция — численность рыб на нерестилищах, по-видимому, значительно может превосходить плотность гнезд. В 2019 году для оценки краткосрочной динамики численности и исследования гнездового поведения трехиглой колюшки *G. aculeatus* на нерестилищах в Керетском архипелаге (губа Чупа) нами была поставлена серия наблюдений с использованием камер интервальной съемки. Также еженедельно проводилась оценка численности и половой структуры рыб с использованием неводного лова. По нашим данным, полученным с камер, размещенных в пелагической зоне на удалении 200 м от нерестового участка рыб на входе в губу Сельдяная, в начале нереста колюшки подходят к нерестилищам в составе небольших (< 50 особей) групп, причем большая часть рыб подходит в течение недели. До начала строительства самцами гнезд большая часть рыб держится в поверхностном слое воды, поднимаясь во время прилива, и концентрируясь у нижней литорали во время отлива. После строительства гнезда, его охрана от нападений со стороны как других самцов, так и самок, для которых ранее было показано избирательное питание икрой своего вида во время нереста, занимает у самца сопоставимое количество времени с чисткой гнезда и аэрацией икры.

## Dynamics of number of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in spawning grounds

Saveliev P.<sup>1\*</sup>, Panitsina V.<sup>1</sup>, Genelt-Yanovskiy E.<sup>2</sup>, Ivanov M.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: ananasovnet11@gmail.com

Our study was aimed at understanding the short-term dynamics and nesting behaviour of the three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*. By using time-lapse cameras we analysed changes in spatial distribution of fishes at the spawning sites and characterise the behaviour of male sticklebacks defending their nests.

## **Sexual dimorphism of threespine stickleback of the Keret archipelago (White Sea) in external morphological characters**

*Dorgham A. S.<sup>1,2\*</sup>, Ivanova T. S.<sup>1</sup>, Ivanov M. V.<sup>1</sup>, Yurtseva A.<sup>3</sup>, Lajus D. L.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> Central Laboratory for Aquaculture Research (CLAR), Egypt

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Ichthyology, Saint Petersburg

\* e-mail: dorgham22@hotmail.com

Threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* shows a high phenotypic heterogeneity across its distribution range in morphology and life-history traits. Males and females usually differ in external structures that are not directly associated with reproduction. Sexual dimorphism can result from a variety of factors, including both sexual and natural selection. Sexual dimorphism information is important for understanding the ecology, behavior and life history. This study aims to describe patterns of sexual dimorphism of stickleback in the Keret archipelago in the White Sea. In total, for 1442 individuals (749 females and 693 males) we located 27 landmarks describing external morphology obtained from scanned images and created 44 linear traits. Principle component analysis (PCA) and Discriminant function analysis (DFA) were used to analyze the data. The most discriminative traits were 1) head length, 2) predorsal length from end of snout to start of first dorsal spine 3) body depth, 4) distance from start of pelvic spine to base of anal fin, 5) anal fin, 6) pelvic girdle length, 7) mouth length, 8) distance from base of second dorsal spine to base of the third spine and 9) standard length. PCA yielded eleven factors with eigenvalues > 1, explaining 76.36 % of the total variance. PC1 with maximal loading of sexually dimorphic PCs was interpreted as a general size, PC2 had maximal loading on the tail shape, PC3 on body depth and PC4 on traits describing defense structures, PC6 described the anal fin shape, and PC8 shape of the dorsal fin. Anal, dorsal fins and defense structures were relatively larger in males, whereas general size and body depth in females. DFA of morphometric data produced one significant discriminant function which separated males from females population which accounted for almost 100 % of the total variance. Regarding DFA, sixteen traits were selected by stepwise discriminant function analysis on these data for separating between sexes. The most important discriminant characters with the first eight traits described above. Significant heterogeneity in morphology between female and male stickleback populations was revealed by Duncan statistics and discriminant function analysis, represented in both higher function scores and higher separating among Duncan means. Comparisons of patterns of the sexual dimorphism of stickleback of the White Sea with such patterns in other parts of species' distribution range showed similarity with some regions and differences with the others.



## Age structure of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* on spawning grounds of the Kandalaksha Bay of the White Sea

Rogozhkina S. P.<sup>1\*</sup>, Ivanova T. S.<sup>2</sup>, Smirnova K. A.<sup>2</sup>, Ivanov M. V.<sup>2</sup>, Lajus D. L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SPbGAVM (Academy of Veterinary Medicine), Saint Petersburg

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

\* e-mail: rogozhkina1998@mail.ru

The threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* is currently the most numerous fish of the White Sea, and studies of its life cycle and population structure are very important for understanding its role in the ecosystem. A key question of such studies is age composition, and otoliths represent the most appropriate structure for such analysis.

During the summer 2018, we collected 487 specimens in three different types of spawning biotopes (inlet with dense seagrass beds, fucoid thickets, shallow lagoon) in the middle and end of the spawning season, and in post-spawning period. The average age structure of spawning stickleback in the White Sea is as follows: age 1 year — 28 and 36 % females and males respectively; 2 years — 47 and 40 %, 3 years — 23 and 23 %, 4 years — 1 and 2 %, 5 years — 1 and 0 %. The age structure varies during the spawning season and in different biotopes.

During the spawning, females in the seagrass beds are younger than in other two biotopes (Chi-square,  $p = 0.021$ ): in the middle of spawning season one- and two-year-old females in the seagrass beds comprise 53 and 38 % respectively, whereas in the other biotopes — 25 and 48 % respectively. Older fish (aged 3–5 years) comprise 9 % in seagrass and 27 % in the other biotopes. No fish older than 3 years are found in seagrass. By the end of spawning season, proportion of one-year-old females decreases up to 32 % and two-year-old fish increases up to 60 %. In males, no significant differences in age structure were found among the biotopes.

In seagrass, we observed decrease of one-year-old fish and increase of three-year-old ones among both males and females during the whole period of observations. No changes of the age structure in the other biotopes was observed.

Mortality is closely related to the age structure of the population. Annual mortality during the second year of life is about 80 %, during the third year — 40–50 %, and 90–100 % for older fish.

Therefore, threespine stickleback in the White Sea is a short-living and early-maturing fish. Its age structure is very variable temporary and spatially, probably allowing this species quickly adapt to environmental changes.

## **Изменчивость роста и формы раковины сердцевидки съедобной *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) в северной части ареала**

Овчаренко Е. А.<sup>1\*</sup>, Назарова С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, кафедра птицеводства и мелкого животноводства, Санкт-Петербург

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

\* e-mail: liza.ovcha@list.ru

Серцевидка съедобная (*Cerastoderma edule*) — вид литоральных двустворчатых моллюсков из семейства кардиид (*Cardiidae*). Ее ареал простирается от побережья Марокко в Северной Африке до Мурманского побережья Баренцева моря. В данной работе мы исследовали географическую изменчивость формы раковины и скорости роста *C. edule*.

Материал был собран в период 2008–2015 гг. на литорали Норвежского, Северного, Баренцева, Ирландского морей и пролива Скагеррак. Всего было исследовано 17 поселений. У каждого моллюска измеряли длину (L), высоту (H) и толщину (W) раковины. Для описания формы раковины использовали стандартные индексы: H/L, W/L и W/H. Для оценки асимметричности раковины измеряли биссектрису (B) и рассчитывали индекс B/H. Также измеряли длину меток зимней остановки роста. Рост аппроксимировали уравнением Берталанфи. Сравнительный анализ кривых роста произведен с учетом разброса эмпирических данных относительно регрессионной модели (Максимович, 1989).

При анализе формы раковины методом nMDS облака точек, описывающих раковины сердцевидок из разных морей, перекрывались в центральной части. У моллюсков из Ирландского, Норвежского морей и с побережья Восточного Мурмана Баренцева моря раковины в большей степени отличались. Групповые отличия формы раковин статистически достоверны (ANOSIM: R = 0,22, p = 0,001).

По асимметричности раковины поселения отличались достоверно (критерий Краскела-Уоллиса:  $\chi^2 = 148,36$ , p-value < 0,05). Более симметричными были ракушки с побережья Восточного Мурмана (Баренцево море). Наиболее асимметричные раковины были в поселениях в районе Бергена (Северное море), Олесунна и Несны (Норвежское море).

Была показана аллометрия роста раковины: мелкие особи более округлые по форме, а крупные — более вытянутые (корреляция Спирмена между L и H/L: rs = -0,33, p < 0,005).

Вздутость раковины не зависит от размера раковины (корреляция Спирмена между L и W/L: rs = 0,13, p = 0,0055), поэтому мы использовали индекс W/L как меру вздутости раковины и проводили сравнение для всего объема выборки. От Ирландского моря до побережья Восточного Мурмана раковины сердцевидки становятся более уплощенными в северо-восточных акваториях (критерий Краскела-Уоллеса:  $\chi^2 = 166,81$ , p-value < 0,05). Серцевидки из пролива Скагеррак обладали более уплощенной раковиной, чем в соседних акваториях.

Для сравнения роста использовали наиболее быстрорастущих особей. Было выделено 8 групп, достоверно отличающихся по характеру роста. Не обнаружено монотонного снижения скорости роста в более северо-восточных популяциях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектов АААА-А19-119020690072-9 и РФФИ 18-05-60157.

## **Variability of growth and shell shape of common cockle *Cerastoderma edule* (Linnaeus, 1758) in the northern part of the range**

Ovcharenko E.<sup>1\*</sup>, Nazarova S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Agrarian University, Department of Poultry and Small Livestock, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Marine Research, Saint Petersburg

\* e-mail: liza.ovcha@list.ru

The aim of the study is to compare populations *Cerastoderma edule* by shell shape and growth. Cockle shell shape was different in the Irish, Norwegian and Barents Seas. Mollusks from the Barents Sea had more symmetrical shells than those from other populations. We observed eight cockle groups with different growth rates without clear geographical pattern.

## Ассоциированная фауна мидиевого сообщества обрастания в Белом море

Манойлина П. А.<sup>1\*</sup>, Халаман В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петрозаводский государственный университет, кафедра зоологии и экологии, Петрозаводск

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

\* e-mail: polinamanoilina@yandex.ru

В обрастаниях, образованных *Mytilus edulis*, до 99 % всей биомассы сообщества приходится на долю мидий. Мидия не только доминирует, она является эдификатором среды и доминантом консорции (Lintas, Seed, 1994; Иванов 2014). Такие организмы в современной литературе принято называть инженерными видами (Ribeiro et al., 2003; Harwell, 2010). Считается, что своим существованием они усложняют среду и тем способствуют повышению видового разнообразия (Tsuchiya, Nishihira, 1986). Организмы, которые обитают среди друз прикрепленных видов, находят здесь себе убежище и пищу, принято называть ассоциированными (Lee, Fong, 2001). Целью данного исследования было определить, влияет ли пространственная сложность среды, обеспечиваемая друзами мидий, на структуру фауны и флоры в мелководных обрастаниях в Белом море.

Исследование проводилось на ББС ЗИН РАН «Картеш». Материалом послужили результаты полевого эксперимента, проведенного в бухте Круглая губы Чупа Кандалакшского залива в 2017–2018 гг. На экспериментальных пластинах размерами 15x15 см были укреплены муляжи мидиевых друз, изготовленные из пустых створок мидий. Контролем послужили аналогичные пластинки без муляжей. В июне 2017 г. пластины были подвешены в воде горизонтально на глубине 3 метра без контакта с дном. Пластины изъятые из воды в июле 2018 г. Учитывалось все макронаселение верхних сторон контрольных и экспериментальных пластин, определялся видовой состав встреченной фауны и флоры, их численность и сырая масса. Для статистической обработки данных были использованы PERMANOVA, ANOVA и post-hoc сравнения.

В ходе анализа полученных данных установлено, что структуры сообществ обрастания экспериментальных и контрольных пластин различались между собой (Pseudo-F = 2,67;  $p = 0,02$ ). Биомасса подвижной фауны на экспериментальных пластинах была достоверно выше, чем на контрольных ( $p = 0,012$ ). Вероятно, это связано с тем, что подвижные животные находят в муляжах мидиевых друз себе убежища. Напротив, биомасса прикрепленной фауны на экспериментальных пластинах была достоверно ниже, чем на контрольных ( $p = 0,004$ ). Возможно, для этих видов важно наличие свободного места для прикрепления и/или то, что керамическая пластинки оказались более привлекательным и стабильным субстратом, чем створки мидий. Достоверных различий в структуре и биомассе альгофлоры на экспериментальных и контрольных пластинах обнаружено не было.

Таким образом, усложнение пространственной среды, вызванное друзами мидий, оказывает существенное влияние на формирующееся сообщество обрастания.

*Исследование поддержано грантом РФФИ № 18-04-00062а.*

## Associated fauna of mussel fouling community in the White Sea

Manoilina P. A.<sup>1\*</sup>, Khalaman V. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Department of Zoology and Ecology, Petrozavodsk

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

\* e-mail: polinamanoilina@yandex.ru

The aim of this study was to determine whether the spatial complexity provided by the aggregations of blue mussels affects the structure of fouling communities. The increase in the spatial complexity had positive effect on vagile fauna and negative — on sessile fauna, but no impact on the algae.

## Оценка простого морфологического маркера для идентификации гибридирующих мидий

### *Mytilus edulis* L. и *M. trossulus* Gould

Марченко Ю. Т.<sup>1\*</sup>, Хайтов В. М.<sup>2,3</sup>, Католикова М. В.<sup>1,4</sup>, Стрелков П. П.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Мурманская область

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

<sup>4</sup> Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, лаборатория альгологии, Мурманск

\* e-mail: st022847@student.spbu.ru

Мидии, *Mytilus edulis* (МЕ) и *M. trossulus* (МТ), широко распространены в морях Северной Атлантики; при перекрытии ареалов они формируют смешанные поселения и вступают в интрогрессивную гибридизацию. Будучи древними эволюционными линиями, морфологически оба вида похожи, и считаются криптическими. Однако последние исследования показали, что в Белом море МЕ и МТ можно различать по простому морфологическому маркеру: наличию у большинства МТ «язычка» призматического слоя под лигаментом (Т-морфотип) и его отсутствию у большинства МЕ (Е-морфотип). В работе мы ищем ответы на следующие вопросы: 1. Насколько надежно можно идентифицировать МЕ и МТ по морфотипам (принимая во внимание, что в гибридных зонах определение видов является вероятностным и зависит от таксономического состава поселений); 2. Где еще, помимо опресненного Белого моря, этот признак может быть использован.

В работе был использован богатый материал из гибридной зоны в водах Кольского полуострова (50 выборок, 2800 особей). Для анализа материал был поделен на три выдела: опресненные местообитания (Белое море и опресненная часть Кольского залива, соленость  $\leq 25$  ‰) и полносоленые местообитания (устье Кольского залива, соленость  $> 25$  ‰). Ограниченные выборки с открытого побережья Восточного Мурмана использовались для тестирования полученных результатов. Чтобы определить надежность использования признака, мы сравнивали предсказанную по морфотипам таксономическую принадлежность особей с видовым генотипом (оцененным по четырем ядерным маркерам). Для каждой выборки мы рассчитали следующие характеристики: частоту Т-морфотипа, частоту Т-морфотипа среди МТ и МЕ, частоту корректно определенных МТ среди Т-морфотипа, частоту корректно определенных МЕ среди Е-морфотипа; и проанализировали их в зависимости от состава поселений (частоты МТ), используя регрессионный анализ (GL(M)Ms). Материал из других гибридных зон был представлен ограниченными коллекциями из Северной Америки и Европы.

В опресненных местообитаниях Баренцева моря (соленость  $\leq 25$  ‰), как и в опресненном Белом море, различия в частотах морфотипов составляют 65 %, что позволяет А) надежно предсказывать таксономический состав поселений мидий, и Б) определять таксономическую принадлежность особей в смешанных поселениях с вероятностью до 75 %. В полносоленых местообитаниях Баренцева моря различия в частотах морфотипов ниже, порядка 30 %, что делает признак малоинформативным. Анализ коллекций из «заморских» гибридных зон показал, что перспективы использования морфотипов для идентификации МЕ и МТ есть в Америке и Шотландии, но не в Балтике и Норвегии.

*Проект выполняется при поддержке РНФ № 19-74-20024.*

## Evaluation of simple morphological marker for identification of hybridizing mussels *Mytilus edulis* L. and *M. trossulus* Gould

Marchenko J.<sup>1\*</sup>, Khaitov V.<sup>2,3</sup>, Katolikova M.<sup>1,4</sup>, Strelkov P.<sup>1</sup>

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

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

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

<sup>4</sup> Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Center RAS, Algology laboratory, Murmansk

\* e-mail: st022847@student.spbu.ru

Taxonomic markers are functionally semi-diagnostic in contact zones between hybridizing species and taxonomic assignment depends on the composition of populations. We evaluated morphological marker for identification of hybridizing mussels and showed that it can be reliably used for prediction of composition of populations and individual taxonomic assignment (75 % in 1:1 mixtures).

## **Star Wars and Angry Birds: морские звезды и кулики-сороки регулируют структуру смешанных поселений *Mytilus edulis* и *M. trossulus* в Белом море**

Хайтов В. М.<sup>1,2,3\*</sup>, Нематова Р. Б.<sup>2</sup>, Евдокимова А. И.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Кандалакшский государственный природный заповедник, Мурманская область

\* e-mail: polydora@rambler.ru

Помимо коренного для Белого моря вида мидий (*M. edulis*) во многих участках Кандалакшского залива представлен второй вид, *M. trossulus*, который считается инвазивной формой, занесенной в акваторию не более 80 лет назад (Väinölä, Strelkov, 2011). В настоящее время высокая концентрация *M. trossulus* (более 70 % от общей численности двух видов мидий) наблюдается лишь в кутовой части Кандалакшского залива (Хайтов и др., 2017). Факторы, сдерживающие распространение вида-вселенца, изучены слабо, но можно предположить, что некоторую роль в этом играют хищные животные, для которых мидии являются основным видом корма. К числу таких хищников относятся морские звезды (*Asterias rubens*) и кулики-сороки (*Haematopus ostralegus*). Мы изучили соотношение численностей двух видов мидий в местах концентрации куликов-сорок (на литорали) и морских звезд (в сублиторали). Мы проводили количественную оценку обилия живых и погибших моллюсков (учитывали недавно вскрытые раковины, створки которых соединены лигаментом), при этом у всех живых и мертвых особей с длинной раковины более 10 мм определяли морфотип (степень развития перламутрового слоя в районе лигамента, которая высоко коррелирует с видовым статусом мидии, Katolikova et al., 2016). Было показано, что чем больше в поселениях мидий присутствует створок мертвых моллюсков, тем меньше среди живых особей доля морфотипа, соответствующего *M. trossulus*. И в сублиторали (в местах концентрации морских звезд), и на литоральных мидиевых банках, где кормились кулики, доля морфотипа, соответствующего *M. trossulus*, среди съеденных моллюсков была существенно выше, чем среди живых особей. Это свидетельствует о том, что оба хищника избирательно выедают *M. trossulus*. Возможно, что это связано с тем, что данный вид обладает более тонкими и более гибкими створками, чем *M. edulis*, что облегчает вскрытие раковины и уменьшает для хищника время обработки пищи. По нашим оценкам кулики-сороки могут выесть до 2,7 % (в среднем 0,72 %), а морские звезды до 73,8 % (в среднем 47,5 %) особей с длинной раковины более 10 мм. Последнее позволяет ожидать, что, по крайней мере в сублиторали, хищники могут являться эффективным фактором, сдерживающим расселение *M. trossulus*.

*Проект выполняется при поддержке РНФ (проект No. 19-74-20024).*

## **Star Wars and Angry Birds: sea-stars and oyster-catchers regulate structure of mixed populations of *Mytilus edulis* and *M. trossulus* in the White Sea**

Khaitov V.<sup>1,2,3\*</sup>, Nematova R.<sup>2</sup>, Evdokimova A.<sup>2</sup>

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

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

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

\* e-mail: polydora@rambler.ru

The proportion of *M. trossulus* and *M. edulis* in sea-star's and oyster-catcher's feeding sites was assessed. Both predators ingested *M. trossulus* selectively and proportion of this species among alive mussels decreasing dramatically when abundance of eaten mussels increased. Predators can be considered as a factor regulating structure of mussel's mixed populations.

## **Влияние условий обитания на метаболом моллюсков рода *Littorina***

Павлова П. А. \*, Мальцева А. Л., Варфоломеева М. А., Бабкина И. Ю., Гранович А. И.

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

\* e-mail: pollypavlova98@gmail.com

Моллюски рода *Littorina* (Mollusca, Caenogastropoda, Littorinidae) широко распространены в литоральной зоне морей Северной Атлантики. В подроде *Neritrema* выделяют группы криптических видов «*saxatilis*» (*L. saxatilis*, *L. arcana*, *L. compressa*) и «*obtusata*» (*L. obtusata*, *L. fabalis*). Каждый из видов занимает определенное положение на литорали: в верхнем горизонте — *L. saxatilis*, *L. arcana* и *L. obtusata*, в нижнем горизонте — *L. saxatilis*, *L. compressa*, *L. obtusata* и *L. fabalis*.

В высоких широтах литораль характеризуется значительными суточными и сезонными колебаниями абиотических факторов. Следовательно, организмы, населяющие приливно-отливную зону, должны иметь адаптивные изменения к колебаниям значений факторов среды. Метаболом организма отражает его физиологическое состояние и быстро изменяется в ответ на воздействие различных факторов окружающей среды, поэтому метаболомный подход часто используется в экологических исследованиях для оценки воздействия факторов среды на организм. Филогенетическая близость перечисленных видов литорин вкупе с имеющимися у них экологическими предпочтениями в пределах литорали позволяет предположить, что эти виды дивергировали по механизму симпатрического видообразования. Таким образом, данная группа видов является информативной моделью для изучения механизмов адаптации к гетерогенным условиям среды обитания и ее эволюционных последствий.

Наше исследование направлено на оценку степени сходства механизмов адаптации к выживанию на разных уровнях литорали у моллюсков близких видов рода *Littorina*.

Образцы для анализа собраны из природных популяций в летний сезон 2019 года из двух географических точек: Сальстраумен (Норвежское море) и Варангер-фьорд (Баренцево море). В каждом случае брали выборки моллюсков с верхнего и нижнего горизонтов литорали.

Анализ метаболомов проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Анализ данных ГХ-МС проводили в среде R.

Предварительные результаты анализа показывают следующие тенденции: (1) метаболомы сестринских видов *L. obtusata* и *L. fabalis* существенно различаются, что хорошо согласуется с протеомными данными; (2) в группе «*saxatilis*» виды *L. saxatilis* и *L. arcana* имеют более сходный состав метаболитов друг с другом, чем с *L. compressa*. У особей *L. saxatilis* имеются различия в составе метаболитов в зависимости от населяемого уровня литорали. Эти различия затрагивают обилие и состав свободных моносахаров, входящих в состав мембранных липидов жирных кислот, а также стероидов и их производных.

Проект выполняется при поддержке гранта РНФ 19-14-00321 «Экологические и молекулярные основы микроэволюции: модель параллельного видообразования в комплексах криптических видов литоральных моллюсков» с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

## **The impact of habitat conditions on the metabolome of mollusks of genus *Littorina***

Pavlova P. \*, Maltseva A., Varfolomeeva M., Babkina I., Granovitch A.

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

\* e-mail: pollypavlova98@gmail.com

Mollusks of cryptic species of the genus *Littorina* inhabit different littoral zones in various environmental factors. We performed GC-MS metabolome analysis of five species to assess the similarity of adaptation mechanisms to survival in different conditions. We found differences between *L. obtusata* and *L. fabalis*; *L. saxatilis* and *L. arcana* have similar metabolome and differ from *L. compressa*.

## Воздействие антропогенного загрязнения на эффективность размножения литоральных моллюсков *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792) арктических побережий

Варфоломеева М. А.<sup>1</sup>, Бабкина И. Ю.<sup>1</sup>, Соколовский Н.-М. А.<sup>2\*</sup>, Мальцева А. Л.<sup>1</sup>, Куршева А. В.<sup>3</sup>,  
Моргунова И. П.<sup>3</sup>, Гранович А. И.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ООО «Эксперт-Система», Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

\* e-mail: n.m.sokolovsky@gmail.com

Оценка последствий антропогенного загрязнения арктических морей в последнее время все более актуальна в связи с интенсификацией хозяйственной деятельности в регионе. Судоходство, разведка и добыча углеводородов в прилегающей акватории делают прибрежную зону одной из наиболее уязвимых экосистем. Один из ключевых факторов, обеспечивающих поддержание численности популяций — устойчивый уровень воспроизводства и здоровье потомства, но именно репродуктивная сфера часто оказывается очень чувствительной к воздействию загрязняющих агентов. В связи с этим оценка влияния уровня загрязнения на воспроизводство ключевых видов в уязвимых экосистемах становится очень важной.

Брюхоногие моллюски *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792) образуют плотные поселения на побережье Северной Атлантики. Эти улитки являются важным компонентом трофических сетей в сообществах каменистой литорали. Большая продолжительность жизни *L. saxatilis* позволяет им аккумулировать эффекты неблагоприятных воздействий, а разнообразие пищевых связей обеспечивает распространение этих эффектов в сообществах. Вышеперечисленные факторы делают этих моллюсков удобным объектом для исследования влияния загрязнений на литоральных гидробионтов.

*L. saxatilis* — яйцезиворождающий вид; самки вынашивают потомство в расширенной паллиальной части половой системы, соответствующей слизистой железе других представителей гастропод («выводковой сумке») и отрождают полностью сформировавшихся молодых особей. Это позволяет количественно учитывать индивидуальную плодовитость каждой самки, путем подсчета развивающихся эмбрионов, находящихся на различных стадиях развития, а также оценить количество и долю аномально развивающихся зародышей. Цель данной работы — сопоставить оценки уровня загрязнения литоральной зоны с показателями плодовитости особей массового вида литоральных моллюсков *L. saxatilis*.

Моллюсков *L. saxatilis* собрали в девяти географических точках с различным уровнем загрязнения в Баренцевом и Белом морях. Для оценки загрязнения были использованы данные о групповом составе ароматических углеводородов донных осадков литоральной зоны, которые позволяют судить о генезисе и уровне трансформации органического вещества. У самок моллюсков измеряли высоту раковины, подсчитывали общее число здоровых и аномальных эмбрионов. Зависимость числа аномалий развития эмбрионов и индивидуальной плодовитости самок от уровня загрязнения моделировали с учетом размера моллюсков при помощи обобщенных линейных моделей. При помощи Монте-Карло симуляций построили прогноз уязвимости популяций к загрязнению исходя из разных модельных вариантов их размерной структуры.

Доля аномальных эмбрионов в потомстве моллюсков сходного размера резко увеличивается в загрязненных местообитаниях несмотря на сходную индивидуальную плодовитость. Уровень аномалий развития — это высокочувствительный параметр, варьирующий согласно степени загрязненности местообитания. Прогнозируемая степень уязвимости популяций со «старой» размерной структурой выше, чем у «молодых».

Проект выполняется при поддержке РФФИ Норв\_Т №18-54-20001.

## Effect of anthropogenic pollution on efficacy of reproduction of intertidal molluscs *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792) on the Arctic coasts

Varfolomeeva M. A.<sup>1</sup>, Babkina I. Y.<sup>1</sup>, Sokolovsky N.-M. A.<sup>2\*</sup>, Maltseva A. L.<sup>1</sup>, Kursheva A. V.<sup>3</sup>,  
Morgunova I. P.<sup>3</sup>, Granovitch A. I.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> «Ekspert-Sistema» LLC, Saint Petersburg

<sup>3</sup> FSBI «VNIIOkeangeologia», Saint Petersburg

\* e-mail: n.m.sokolovsky@gmail.com

In the Arctic, assessment of pollution effects on reproduction of key species in coastal communities becomes increasingly important due to growing human activity. In this study, we modelled pollution effect on *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792) fecundity and number of developmental abnormalities at nine sites in the Barents and White seas.

**Inner shelf benthic foraminifera in the marginal Arctic seas of Eurasia:  
new and poorly known lineages**

*Voltzki I.\**

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

\* e-mail: [allogromia@gmail.com](mailto:allogromia@gmail.com), [ivan.voltzki@zin.ru](mailto:ivan.voltzki@zin.ru)

Arctic marine benthos has been extensively studied in terms of macrofaunal diversity and distribution, resulting in the integration of large taxonomic datasets into the World Register of Marine Species (WoRMS). At the same time, comparatively little is known about the diversity of protists, including foraminifera. The latter group has traditionally been the scope of paleoclimate research, owing to a good preservation potential of some calcareous lineages in marine sediment record. Extant communities of foraminifera were characterized on the continental shelves of the White, Barents and Kara seas, and in the fjords of Svalbard, with the main focus on multichambered, hard-shelled calcareous or agglutinated species.

Our sampling in the Kandalaksha Bay of the White Sea, and during the leg IV of the TransArctic-2019 expedition (Laptev and East Siberian Seas) resulted in many new isolates of benthic foraminifera from < 300 m depth. Particular attention was paid to (I) Monothalamids (a paraphyletic assemblage of lineages with a vast number of species still not described as a result of their time-consuming isolation and sample processing issues) and (II) family Elphidiidae (a group of calcareous foraminifera, commonly regarded as a 'nightmare for taxonomists' due to their complex morphology and vague morphospecies boundaries). Despite a very different context, the taxonomy of both groups requires the 'integrative' approach: a combination of the study of morphology by means of optical and SEM microscopy, and genetics (SSU rDNA gene sequencing and molecular phylogeny).



## Цитология высокоширотных фораминифер: от сезона к сезону

Князева О. В.\*

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

\* e-mail: knyazeva.sp@gmail.com

Долгое время считалось, что высокоширотные организмы с наступлением зимнего периода и сопутствующего ему дефицита пищи переходят в стадию покоя. Соответственно, этот переход должен сопровождаться снижением метаболической активности, отсутствием питания и роста. Исследования последних лет опровергают данную парадигму, доказывая, что для многих обитателей Арктики жизнь не замедляется с наступлением зимы. Тем не менее, большинство таких исследований касаются в основном макробентоса или планктона. То, как реагируют на наступление зимы представители мейобентоса, в частности, такой важный его компонент как фораминиферы — неизвестно.

Для изучения клеток фораминифер нами был отобран донный осадок из фьордов Северного Шпицбергена в 2015–2016 годах. Отбор проб производился в январе и июне для того, чтобы получить представление о состоянии клеток в разные сезоны года. Далее представители наиболее многочисленных видов были изучены при помощи конфокальной и трансмиссионной электронной микроскопии.

Для исследования в первую очередь были выбраны виды *Cassidulina reniforme*, доминирующий в приледниковых осадках, и *Nonionellina labradorica*, преимущественно населяющий дистальные от ледника донные осадки.

Несмотря на предполагаемое снижение численности микроводорослей — основного источника пищи упомянутых видов — клетки представителей обоих видов, собранные зимой, содержат пищеварительные вакуоли, свидетельствующие о том, что эти фораминиферы питаются. Метаболический аппарат клеток также активен: для них характерны ядра с ярко выраженными ядрышками, обширная сеть шероховатого эндоплазматического ретикула, активные аппараты Гольджи и многочисленные митохондрии, которые часто удается зафиксировать на стадии деления. Паракристаллические тела, обнаруженные нами, крайне малочисленны и в данной ситуации не могут рассматриваться в качестве признака покоящейся стадии.

Интересной находкой оказались хлоропласты (клептопласты) в цитоплазме *N. labradorica*, которые были в большом количестве обнаружены в протистах, собранных как летом, так и зимой. Клептопласты описаны для целого ряда фораминифер. В видах, обитающих в пределах фотической зоны, пластиды сохраняют фотосинтетическую активность. Для фораминифер, обитающих в условиях дефицита света, в том числе для *N. labradorica*, функция клептопластов не известна. Все описанные нами клептопласты были целыми и не имели признаков деградации или переваривания. Единственное, на что стоит обратить внимание — разрывы в их наружных мембранах, которые, как ранее предполагалось другими исследователями, служат для облегчения обмена между клептопластом и цитоплазмой хозяина. Таким образом, *N. labradorica* даже в условиях дефицита пищи не использует запасенные в цитоплазме хлоропласты в качестве резервного источника еды.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-34-00823 мол\_а на базе ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

## Cytology of the high-latitude Foraminifera: from season to season

Knyazeva O. V.\*

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: knyazeva.sp@gmail.com

Several benthic foraminifera species were collected in January 2016 and June 2016 from Svalbard fjords and studied with TEM and confocal microscopy. Despite the presumed lack of food during the winter foraminifera showed signs of active feeding and demonstrated well-developed metabolic apparatus hence disproving the initial idea of their transition to the resting stages during winter.

## Изотопный состав водорода вод реки Енисей, поступающих в Карское море

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

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

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

\* e-mail: rompereverz@hotmail.com

Изотопный состав водорода вод в зоне перехода «река-море» позволяет установить источник и долю пресного компонента в морской воде. Целью данной работы является определение изотопного состава водорода пресных вод, поступающих в Карское море из реки Енисей, и количественная оценка содержания данных вод в зоне перехода «река-море». Количественные оценки направления, дальности и глубины распространения речных вод в Карском море имеют большое значение, поскольку речные воды являются потенциальным источником радиоактивных и техногенных загрязнений.

Материал для изотопных исследований отобран в 66-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море и море Лаптевых (13 июля — 21 августа 2016 г.). Пробы были отобраны на 13 станциях, расположенных вдоль профиля, вытянутого в направлении с юга на север от эстуария реки Енисей (~ 71 ° с. ш.), до ~76 ° с. ш.

Изотопный анализ водорода был проведен методом DI IRMS (Dual Inlet Isotope Ratio Mass Spectrometry) с использованием масс-спектрометра DELTAplus (Thermo, Finnigan). Величины  $\delta D$  водных образцов были прокалиброваны в шкале «V-SMOW» с использованием внутренних стандартов и образцов сравнения МАГАТЭ (ОН-13 — ОН-16). Точность определения величин  $\delta D$  составляет  $\pm 0,3$  ‰.

Процессы смешения морских и речных вод традиционно рассматриваются в координатах «изотопный состав-соленость». В качестве «морского» компонента был принят состав неопресненных вод Баренцева моря, имеющих соленость 34,95 ‰ и  $\delta D = 1,55$  ‰, поскольку они являются основным источником морских вод в Карском море. Методом экстраполяции величин  $\delta D$  на нулевую соленость был определен изотопный состав водорода речного стока Енисея, его средняя величина  $\delta D$  составила  $-115,5$  ‰.

Количественная оценка содержания речных вод в изученных образцах из Обского и Енисейского профилей была проведена по уравнению материального баланса:

$$\delta_{обр.} = x\delta_{р.в.} + (1-x)\delta_{м.в.}$$

где  $\delta_{обр.}$ ,  $\delta_{р.в.}$  и  $\delta_{м.в.}$  — изотопный состав водорода измеренного образца, речной воды и морского компонента соответственно.

Проведенные расчеты показывают, что поверхностный слой (от 0 до 10 м) Карского моря содержит более чем 50 % пресных вод речного происхождения даже на расстоянии более чем 400 км от устья реки. Эти воды с низкой соленостью резко обособлены от соленых морских вод, поступающих в Карское море из Баренцева моря на придонных горизонтах. Следует учитывать, что придонные воды также опреснены достаточно сильно и содержат до 10 % речной воды.

Таким образом, при выполнении данной работы, были установлены величины усредненного изотопного состава водорода речного стока, представленного водами реки Енисей, и определено содержание этих вод в водах изученных профилей.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 18-05-00740.*

## Hydrogen isotope composition of water of the Yenisei River entering the Kara Sea

Pereverzev R. A.<sup>1,2\*</sup>, Dubinina E. O.<sup>2</sup>, Kossova S. A.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: rompereverz@hotmail.com

The transition zone of “Yenisei river — the Kara sea” was studied by isotope method. The average hydrogen isotope composition of water in the transition zone “river-sea” was determined ( $\delta D = -115.5$  ‰). The content of fresh river waters in studied profile was determined. The nature of the water stratification and dynamics of the flow effects of the Yenisei river with a distance from the estuary were established.

## **Изотопный состав водорода и кислорода вод Восточно-Сибирского моря в зоне влияния реки Индигирки**

*Киракосян Д. В.\**

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

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва

\* e-mail: kirakosyan.diana2015@yandex.ru

Данная работа посвящена изучению зоны перехода «река Индигирка — Восточно-Сибирское море» методами изотопной геохимии. Исследование изотопного состава кислорода и водорода в зоне перехода «река-море» позволяет идентифицировать компоненты смешения и определять их количественное содержание в смешанных водах. Для определения изотопного состава водорода был использован метод разложения воды на горячем хrome. Изотопный анализ кислорода проводится методом изотопного уравнивания воды с CO<sub>2</sub> с использованием приборного комплекса GasBenchII и автосэмплера PAL.

Материал для изотопных исследований был отобран в 2017 году в ходе 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Восточно-Сибирском море вдоль разреза, заложенного от побережья вблизи устья р. Индигирки от станции 5598 (71°27,9826' с. ш. 152°53,97' в. д.) до станции 5607 (76°09,92,21' с. ш. 163°03,3783' в. д.). Отбор проб производился при помощи розетки.

Выполнено исследование распределения солёности, изотопного состава водорода и кислорода с глубиной. С увеличением глубины величины  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ , а также солёность возрастают. На глубинах от 0 до 8 метров солёность вод понижена, относительно средней солёности характерной для морских вод (35 psu). Это свидетельствует о процессах опреснения, затрагивающих эти воды. В частности, на станции 5598 величина  $S$  достигает 15 psu (это наиболее опресненная вода в поверхностном слое), а на станции 5607  $S \approx 30$  psu, что практически не отличается от солёностей, наблюдаемых на более глубоких горизонтах.

Наиболее легкие величины  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  наблюдаются в поверхностном слое на станции 5598 ( $\delta D = -89,7$  ‰,  $\delta^{18}O = -11,61$  ‰), наиболее тяжелые — на станции 5607 ( $\delta D = -19,4$  ‰,  $\delta^{18}O = -2,1$  ‰). В этом слое проявлено опреснение, которое уменьшается с удалением от основного источника опреснения — реки Индигирки. На глубинах от 8 до 12 м отмечается увеличение солёности и значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ , так на станции 5598 на глубине около 12 м  $\delta D = -60,8$  ‰,  $\delta^{18}O = -7,7$  ‰ при  $S = 25$  psu. Для станций 5605, 5606 и 5607 изменения солёности и величин  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  с глубиной менее выражены.

Полученные данные об изотопном составе водорода и кислорода показали, что на всех станциях наблюдается опреснение поверхностного слоя вод изотопно-легким пресным компонентом — речной водой Индигирки.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 18-17-00089.*

## **Isotopic composition of hydrogen and oxygen in the waters of the East Siberian sea in the zone of influence of the Indigirka river**

*Kirakosyan D.\**

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russian, UNESCO Chair «Green Chemistry for Sustainable Development», Moscow

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow

\* e-mail: kirakosyan.diana2015@yandex.ru

The hydrogen isotope analysis was conducted in the regime of dual-inlet isotope ratio mass spectroscopy (DI IRMS), by microsample decay on hot chrome. The oxygen isotope analysis was conducted by the isotope equilibration method in the regime of continuous-flow isotope ratio mass spectroscopy (CF IRMS) with the use of the DELTA V+ mass spectrometer and GasBenchII option (Thermo, Germany).

## Молекулярный состав гуминовых кислот почв Российской Арктики

Поляков В. И. \*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: slavon6985@gmail.com

Полярные почвы играют ключевую роль в глобальном круговороте углерода, т. к. они содержат максимальные запасы почвенного органического углерода во всей педосфере. Аккумуляция гумуса в арктических почвах связана с надмерзлотной ретинизацией гумуса, криогенным массообменом, термокарстовыми процессами и др. Площадь подверженная влиянию многолетнемерзлых пород (ММП) составляет более 8,6 млн км<sup>2</sup>, около 27 % всех земель, расположенных выше 50 с. ш. Циркумполярная зона характеризуется низкой степенью гумификации органического материала и коротким вегетационным периодом.

Биоклиматические условия определяют почвообразование в полярных регионах и их специфический состав гуминовых кислот (ГК), однако их высокое разнообразие, низкая степень изученности регионов и использование классических методов изучения органического вещества не позволяют нам определить молекулярный состав ГК в полярных почвах с высокой степенью достоверности. Предложенный нами метод <sup>13</sup>C (CP/MAS) ЯМР позволяет количественно определять структурные и функциональные параметры ГК. Данный метод анализа молекулярного состава ГК поможет понять фундаментальные процессы почвообразования и создать новые представления о сложном составе и структуре природных высокомолекулярных соединений ГК в почвах под влиянием ММП.

Район исследований расположен вокруг островов российской Арктики и включает в себя: острова Вайгач и Колгуев в Карском море, остров Андрея в море Лаптевых и остров Курунгнах в дельте реки Лены и остров Сосновец в Белое море.

В исследованных нами почвах накапливается значительное количество алифатических фрагментов в диапазонах 0–46 и 110–144 м. д., что связано с повышенной влажностью в арктическом секторе и низкой степенью гумификации органического вещества. Соотношение AR/AL колеблется от 0,35 до 1,04, что обусловлено различными климатическими параметрами, составом растительных остатков, а также почвообразующими процессами и активностью криогенных процессов, при усилении криогенных процессов и низких уровнях гумификации увеличивается доля алифатических соединений и происходит захоранивание органического вещества в составе ММП. В почвах с островов Сосновец, Вайгач, Колгуев и Андрей молекулярный состав связан с накоплением алифатических соединений (до 74 %) в составе ГК. В почвах острова Курунгнах, расположенного в дельте реки Лены, накапливается относительно высокое содержание ароматических фрагментов — до 51 %, что характерно для подзолистого типа почвообразования и более южных природных зон, где условия почвообразования в меньшей степени связаны с процессами криогенеза и органическое вещество более гумифицировано. Почвы, формирующиеся на аллювиальных отложениях, имеют относительно высокую степень гумификации из-за естественного дренажа и слабого влияния криогенных процессов. Накопление ароматических фрагментов ГК связано с высокой микробиологической активностью почв, т. к. речной ил и песок содержит относительно высокое содержание питательных элементов в своем составе, необходимых для микробиоты и растений, которые являются прекурсорами гумификации.

## Molecular composition of humic acids isolated from soils of Russian Arctic

*Polyakov V. \**

Saint Petersburg State University, Department of Applied ecology, Saint Petersburg

\* e-mail: slavon6985@gmail.com

Humic substances isolated from selected soils of Russian Arctic were investigated in terms of molecular composition and stabilization rate. Degree of polar soils organic matter stabilization has been assessed with the use of modern instrumental spectroscopy methods. Analysis of humic acids (HAs) preparations showed that aliphatic fragments prevail in the organic matter isolated in polar soils. The predominance of aliphatic fragments has been revealed in the HAs from soils located on the coastal zone, could be caused by regular refreshment of organic matter in conditions of sin-litogenic process.

*This study was supported by Grant of Saint-Petersburg State University "Urbanized ecosystems of the Russian Arctic: dynamics, state and sustainable development".*

## **Основные тенденции изменения ледовых условий российских арктических морей за последнее десятилетие**

*Мищенко А. В.\*, Тимофеева А. Б., Павлова Е. А., Шаратунова М. В., Хотченков С. В., Егорова Е. С.*

ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

\* e-mail: mishchenko@aari.ru

На фоне текущего потепления полярного региона, начавшегося с середины 80-х годов XX в., можно особо выделить период 2007–2018 гг. Этот период характеризовался формированием экстремальных за весь ряд наблюдений значений температуры воздуха в полярном районе и ледяного покрова в морях российской Арктики.

На фоне повышения температуры воздуха в Арктике ранее был выделен период 2007–2013 гг., который отличается исключительно большими аномалиями ледовых условий. Этот период характеризовался значительными сокращениями площади ледяного покрова, уменьшением толщины льда и смещением сроков ледообразования и таяния.

За прошедший последний период 2014–2018 гг. во всех арктических морях наблюдается дальнейшее уменьшение толщины льдов в зимний период и уменьшения ледовитости морей в летний период. Однако интенсивность этих изменений заметно уменьшилась.

Во всех арктических морях, кроме Чукотского, наблюдается отрицательная аномалия толщины. В морях Карском и Лаптевых увеличилась площадь средних льдов в конце периода нарастания. Но при этом для всех морей, кроме ЮЗ Чукотского, значительно сократилась площадь однолетних толстых льдов, которые были основным препятствием для судоходства.

Максимальное уменьшение ледовитости морей в летний период за последние 5 лет произошло в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Ледовитость морей (площадь занятая льдами) в летний период является интегральным показателем, определяющим формирование ледяного покрова в течение всего годового цикла как нарастания льдов, так и их таяния и разрушения в летний период.

Проведен анализ изменения площади остаточных льдов, сохраняющихся после летнего таяния. Остаточная площадь льдов является важным показателем, характеризующим последующие осенние процессы ледообразования и накопления льда в морях. Раннее и интенсивное ледообразование в морях, интенсивное нарастание его толщины и торосистости приводит к формированию большого количества мощных льдов. Позднее начало ледообразования и медленное нарастания льда приводит к формированию ледяного покрова меньшей мощности. Эти процессы в значительной степени зависят от количества остаточных льдов в морях после летнего таяния. Граница остаточных льдов за прошедшее десятилетие проявляла тенденции к смещению на север, но по-разному в каждом из арктических морей.

Климатические изменения не могли не отразиться на ледовых условиях российских арктических морей. Потому постоянный мониторинг гидрометеорологических условий является важнейшим условием понимания происходящих изменений.

## **The main trends in the ice conditions of The Russian Arctic seas over the past decade**

*Mishchenko A. V.\*, Timofeeva A. B., Pavlova E. A., Sharatunova M. V., Khotchenkov S. V., Egorova E. S.*

State Research Center “Arctic and Antarctic Research Institute”, Saint-Petersburg

\* e-mail: mishchenko@aari.ru

During the warming of the polar region, which began in 1988, we can highlight the period 2007–2018. In the last two decades, the trend of reducing the area of residual ice is well observed. The ice edge has moved significantly North over the past decade.

## **Опыт измерения первичной продукции в проливе Средняя Салма Белого моря**

*Новоселова Е. В. \*, Кузнецова Д. А., Петросян Н. В., Смагин Р. Е.*

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

\* e-mail: novoselovaa.elena@gmail.com

Первичная продукция — это скорость образования органического вещества автотрофными организмами, отнесенная к единице площади или объема водоема. Ее выражают в единицах массы или энергии в единицу времени (Алимов, 1989). Первичная продукция может образовываться двумя путями: в результате хемосинтеза или фотосинтеза. Мы не будем останавливаться на первом, поскольку его вклад значительно меньше — не более 1,5–3 % (Алимов, 1989).

В процессе фотосинтеза энергия солнечной радиации, поглощенная растениями, трансформируется в потенциальную энергию органических веществ. В темноте фотосинтез прекращается, следовательно, прекращается потребление углекислого газа и выделение кислорода, однако дыхание продолжается с той же скоростью, что и на свету. Таким образом, можно рассчитать первичную продукцию, если сравнить результаты жизнедеятельности организмов на свету и в темноте.

Авторами было проведено пробное исследование изменения первичной продукции в течение 10-ти дней (с 25 июля по 3 августа 2019) в проливе Средняя Салма. Мы использовали кислородный метод, поскольку такой подход значительно проще. Отбор проб осуществлялся с двух глубин: на поверхности (0 м) и 2 м. После экспонирования склянок в течение суток, был проведен расчет первичной продукции (млО<sub>2</sub>/л\*ч), а именно были определены валовая продукция (ВП), чистая продукция (ЧП) и деструкция (Д). Исходя из того, что 1 мл О<sub>2</sub> соответствует 0,536 мг С, было определено количество образовавшегося органического вещества.

Рассмотрим изменение вычисленной таким образом первичной продукции на поверхности. Минимальные значения ВП и ЧП наблюдались 27 июля (менее –170 мгС/м<sup>3</sup>\*сут). Следует отметить, что эти значения являлись также максимальными по модулю. Максимальная ЧП наблюдалась 3 августа (147,5 мгС/м<sup>3</sup>\*сут), а ВП 28 июня (115,5 мгС/м<sup>3</sup>\*сут). Минимальная деструкция наблюдалась 3 августа (–186,0 мгС/м<sup>3</sup>\*сут) и 29 июля (–173,2 мгС/м<sup>3</sup>\*сут), максимальная — 26 июля (141,1 мгС/м<sup>3</sup>\*сут).

Характер изменения ПП на глубине 2 метра имеет практически противоположный характер. Максимум ВП и ЧП наблюдался 3 августа и составил 186,0 и 147,5 мгС/м<sup>3</sup>\*сут соответственно. Максимум деструкции был зарегистрирован 28 июля (218,1 мгС/м<sup>3</sup>\*сут).

26 июня ВП на поверхности и на глубине 2 метра была одинаковой и составила 19,2 мгС/м<sup>3</sup>\*сут. 31 июня аналогичная ситуация наблюдалась для деструкции — 19,2 мгС/м<sup>3</sup>\*сут; 3 августа — для ЧПП — 147,5 мгС/м<sup>3</sup>\*сут.

Было выявлено достаточно неоднородное временное распределение всех трех вычисленных характеристик.

## **Experience of primary production measuring in the Middle Salma Strait, the White Sea**

*Novoselova E. V. \*, Kuznetcova D. A., Petrosyan N. V., Smagin R. E.*

Saint Petersburg University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: novoselovaa.elena@gmail.com

We investigated the variation in primary production in the Srednyaya Salma strait (the White Sea). We made measurements for 10 days (25.07.19 — 03.08.19) using the oxygen method. We took samples from two depths: 0 and 2 m. There was a non-uniform time distribution of gross production, net production and destruction.

## Hydrochemical characteristic of the Keret river estuary

*Ladanova V.\*; Chetverova A.*

Saint Petersburg University, Department of Hydrology, Saint Petersburg

\* e-mail: sea.treasure@yandex.ru

The study of the interaction of marine and riverine waters in the marine estuary is one of the most important issues in hydrology, as well as in oceanology. Main aims of the research are to study how waters of different genesis interact in the Keret river estuary, and to analyze whether current interaction is typical for rivers of White Sea.

The data analyzed in current research is based on annual expeditions (2008–2009, 2011, 2017–2018) and fieldwork results (2018). During fieldwork water samples were taken from different depths every 0.5 m on three stations located in riverine, marine parts of estuary and in between in the zone of mixing of waters in high tide and low tide phases. Nutrients and dissolved organic carbon (DOC) concentrations in the estuarine water were determined for the first time using high quality analyzers — San<sup>++</sup> (Scalar) and TOC-V<sub>CPH</sub> (Shimadzu).

The Keret river was characterized by a hydrological regime which is typical for rivers of East European part of Russia with high spring-summer flood discharge, autumn rain floods and winter low water period. The flow rate of the river is  $7.08 \text{ L S}^{-1}\text{km}^{-2}$ , which was observed over a long-term period (1945–1989). Hydrological regime of the river in its downstream is typical for North Eastern part of Russia and the coast of White Sea and reflecting a strong swamp influence. Hydrochemical data generalization showed that waters of the river have hydrocarbonate and calcium ions as dominant. Alekin classification type is II or III, depending on the season of a year.

Interaction of marine and riverine waters in space (in depth, in length of the Keret river estuary) and in time (during a tidal cycle) affects hydrochemical characteristics changes within the estuary. Waters of the river origin are characterized by low mineralization up to  $27.9 \text{ mg L}^{-1}$ , neutral pH values (6.5–7.5), rather high DOC concentrations up to  $9 \text{ mg L}^{-1}$ . Riverine and marine waters are mixing in the estuary, and hydrochemical characteristics are changing. This is reflected on the halocline position which tends to go up to the surface if going in river-to-sea direction. Concentrations of DOC and nutrients (silicate, ammonia, nitrate + nitrite, phosphate) of the river genesis are declining in depth and in river-to-sea direction in the estuary. Marine waters typical for the White Sea are observed on the marine border of the estuary. They are characterized by high mineralization up to  $23 \text{ g L}^{-1}$ , oxygen concentrations less than 20 sat % and high pH values up to 9.3.

Thereby, hydrochemical analysis showed riverine waters spreading upper marine waters type of interaction. Comparing various hydrological and hydrochemical features of different estuaries of White Sea coast (Kem, Onega, Mezen, Severnaya Dvina rivers), authors consider the Keret river estuary rather typical for the research region.

## **Межгодовая изменчивость желтого вещества в устье реки Кереть**

*Яковлева Д. А. \*, Малышева А. А., Новоселова Е. В., Петросян Н. В., Колдунов А. В.*

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

\* e-mail: dianayak47@mail.ru

Желтое вещество — часть растворенного в воде органического вещества. Оно состоит из химических соединений, образованных при разложении организмов, и включает в себя гумусовые кислоты. Оно может быть аллохтонным (выносится с суши преимущественно реками) и автохтонным (образуется в море при разложении планктонных организмов). Известно, что в речных водах содержание желтого вещества выше по сравнению с морскими водами, и это может служить надежным трассером для оценки взаимодействия речных и морских вод в поверхностном слое.

Река Кереть выносит пресные речные воды в Кандалакшский залив Белого моря главным образом через пролив Средняя Салма и Узкая Салма. В летний период 2017–2019 гг. в устье реки Кереть проводился отбор проб с поверхности для определения содержания в воде желтого вещества. Содержание желтого вещества в воде определялось на спектрофотометре Unicо-1200. Для дальнейшего анализа использовалась длина волны 355 нм.

Содержание желтого вещества уменьшается от устья реки Кереть к мористой части, т. е. имеет аллохтонное происхождение. Наибольшее содержание желтого вещества ( $19\text{--}20.5\text{ м}^{-1}$ ) для всей акватории Средней Салмы характерно для июля 2017 г. и августа 2019 г. Наименьших значений ( $9\text{ м}^{-1}$ ) содержание желтого вещества достигало в июне 2018 г. на выходе из Средней Салмы. Такая разница значений в концентрации желтого вещества может быть связана с изменчивостью расхода реки Кереть, на который влияет увеличение или уменьшение количества атмосферных осадков.

В августе 2018 г. наблюдается повышенное содержание желтого вещества на входе в Среднюю Салму, что может говорить о том, что в открытом море произошло разложение планктона. Похожее повышение содержания также прослеживается в августе 2019 г., и на это могут влиять особенности приливного режима акватории.

*Измерения были проведены на базе оборудования лаборатории «Отто Шмидта».*

## **Interannual variations of Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) in the estuary of the Keret River**

*Iakovleva D. \*, Malysheva A., Novoselova E., Petrosyan N., Koldunov A.*

Saint Petersburg state University, Department of Oceanology, Saint Petersburg

\* e-mail: dianayak47@mail.ru

We investigate the distribution of CDOM in the estuary of the Keret River (White Sea). The content of CDOM decreased from river Keret to open part of the sea and had allochthon origin. The highest concentrations of CDOM were throughout the Srednyaya Salma in July 2017 and August 2019.



## **Холодный июль 2019 года на Белом море**

*Мамаджанян А. Г. \*, Фролова А. В., Смагин Р. Е.*

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

\* e-mail: gevorkovna.anna@gmail.com

Климатические изменения хорошо проявляются в полярных и приполярных регионах, в связи с этим регулярные метеорологические наблюдения здесь весьма актуальны. Исследования гидрометеорологического режима в районе Карельского берега Белого моря, которые проводятся на УНБ СПбГУ «Беломорская» (губа Кереть, о. Средний), предусматривают ежегодные метеонаблюдения в летний сезон. В период с 25.07 по 06.08.2019 г. студентам-океанологам удалось выявить не характерные для района погодные условия.

Метеонаблюдения велись каждый день в стандартные сроки (с 09:00 до 24:00), также на гидрологическом посту измерялись температура поверхности воды (ТПВ) и уровень моря. Кроме того, в фиксированной точке акватории губы Кереть один раз в сутки (в 12:30 по местному времени) производилось вертикальное зондирование толщи воды (определялась температура, соленость и хлорофилл).

С 25.07 по 26.07 отмечались положительные аномалии температур с наблюдаемым абсолютным максимумом +28,5 °С (18:00, 26.07.). Однако вечером 26.07.2019 прошел грозовой фронт, после чего и до конца периода наблюдений температура воздуха стала постепенно понижаться и достигла минимального значения 7,1 °С (0:00, 5.08). При этом ТПВ повторяет ход изменения температуры воздуха, но с менее выраженным трендом. Максимальное и минимальное значение ТПВ составило 21,8 °С и 10,0 °С, соответственно. Такое понижение температуры (воды и воздуха) связано с тем, что в рассматриваемый период наблюдались постоянные устойчивые и сильные ветры преимущественно северного направления. Средняя скорость ветра составляла 7 м/с, с порывами до 17 м/с. Также было отмечено постепенное понижение атмосферного давления и сплошная облачность, что подтверждается информацией с синоптических карт.

Выхолаживание верхних слоев воды в губе Кереть началось вслед за понижением температуры воздуха и вскоре достигло минимального значения 11 °С. В первые дни наблюдалась типичная двухслойная структура, с максимумом температуры в поверхностном слое (20 °С, 26.07), при этом средняя температура глубинного слоя составляла 12 °С. С 26.07 по 29.07, вследствие сильного ветрового перемешивания, было отмечено постепенное охлаждение воды и исчезновение летней устойчивой стратификации. В период с 30.07 по 05.08 установилась однородная термическая структура вод для всей толщи с температурой около 11 °С.

Впервые за весь период ежегодных летних гидрометеорологических наблюдений (15 лет) наблюдалось такое продолжительное похолодание. Обычно в данный период года для частично закрытой от моря акватории губы Кереть сохраняется устойчивая стратификация вод, а температура верхнего слоя (по данным предыдущих лет) не опускается ниже 16–17 °С.

## **Cold July 2019 on the White Sea**

*Mamadzhanyan A. G. \*, Frolova A. V., Smagin R. E.*

Saint-Petersburg State University, Department of Oceanology, Saint-Petersburg

\* e-mail: gevorkovna.anna@gmail.com

In this study we analyze temperature anomalies in the period from 25.07 to 06.08.2019 in the area of Educational and research station “Belomorskaia” SPbU, Sredniy Island. Based on meteorological and hydrological data we have come to the conclusion that these anomalies are connected with the strong northward winds.

**Gastrulation mechanisms in *Dynamena pumila* (Cnidaria: Hydrozoa)**

Vetrova A. A.<sup>1\*</sup>, Bagaeva T. S.<sup>2,3</sup>, Saidova A. A.<sup>4</sup>, Kupaeva D. M.<sup>1</sup>, Kraus Y. A.<sup>1,5</sup>, Kremnyov S. V.<sup>1,2</sup>

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

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

<sup>3</sup> University of Vienna, Centre of Organismal Systems Biology, Department for Molecular Evolution and Development, Vienna, Austria

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Cell Biology and Histology, Moscow

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Evolutionary Biology, Moscow

\* e-mail: lalavetrova@gmail.com

Cnidarians display almost the full range of existing gastrulation modes, which can be modified and combine with each other in different ways. In the development of colonial hydroid *Dynamena pumila* the unique way of gastrulation can be observed. Morular delamination is the principal mode of gastrulation in *D. pumila* and proceeds through several steps. At the first step of gastrulation, epithelial sheet fragments start to form simultaneously at the several regions of the embryo surface. At the second step, epithelial sheet fragments join and fuse via active planar cell movements, when cells from different epithelization regions form contacts with each other through filopodia and get closer, contracting them. Convergence of epithelial fragments lead to the formation of multiple toroidal-like structures. At the last step of gastrulation, holes of toroidal surfaces close basically according to the same mechanism as the merging of epithelial sheet fragments earlier. Upon tori closure, initially outer cells forming the bottom of torus passively submerge inside the embryo, where they may contribute to the endoderm.

Some surface cells of the embryo take a bottle-like shape during morula and early gastrula stages. Perhaps, these cells migrate inside the embryo and join the endoderm population. In this case, it can be assumed that ingression is one of the mechanisms of gastrulation in *D. pumila*. Cells also can get inside, when some outer cells divide perpendicularly to the surface of the embryo at the morula stage, which looks similar to the mechanism of cellular delamination.

Mechanisms of epithelial sheet fragments merging and tori closure resembles the processes occurring during wound healing in embryonic and adult tissues and epithelium formation in the embryogenesis of higher Metazoa. Thus, it is assumed that in the center of the epithelial tori the integrity of the epithelial layer is broken, and it should be restored during their “healing”.

In sum, gastrulation in *D. pumila* proceeds in an apolar fashion by a mixed delamination, probably accompanied by multipolar cell ingression.

*The study was supported by grant from RFBR No 17-04-01988a.*

## Роль Wnt сигнального каскада в регуляции пространственной организации

### колонии *Dynamena pumila*

Багаева Т. С.<sup>1,2</sup>, Кураева Д. М.<sup>3\*</sup>, Ветрова А. А.<sup>3</sup>, Косевич И. А.<sup>1</sup>, Краус Ю. А.<sup>1,3</sup>, Кремнев С. В.<sup>1,3</sup>.

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва

<sup>2</sup> Университет Вены, отдел молекулярной эволюции и развития, Вена, Австрия

<sup>3</sup> Институт Биологии развития РАН, Москва

\* e-mail: d.kuraeva@gmail.com

Большинство исследований в области Evo-Devo на стрекающих направлено на выяснение механизмов разметки тела неколонизальных представителей этой группы. В тоже время, молекулярные механизмы, обеспечивающие разметку архитектурно сложных колоний, остаются невыясненными.

В нашей работе мы показали, что долговременная активация канонического Wnt каскада во время метаморфоза планулы *Dynamena* приводит к формированию столонической колонии без верхушки роста побега, характерной для, например, *Clytia hemisphaerica*, а не колония с моноподиальным ветвлением, которая в норме наблюдается у *Dynamena pumila*.

Также мы провели эксперименты с отмывкой модуляторов активности канонического Wnt каскада (Azk-активатор и iCRT14-ингибитор). В случае временного воздействия низких концентраций Azk мы наблюдали формирование побегообразующих колоний с ветвлением характерным не для *Dynamena*, а для других видов Sertulariidae, например, *Sertularella gigantea*. Таким образом, данный результат говорит о том, что тонкая настройка активности Wnt/ $\beta$ -catenin каскада определяет не только выбор между формированием столонической и побегообразующей колонии, но и участвует в регуляции формирования разных типов побегообразующих колоний.

Неожиданный результат мы получили в экспериментах с временным воздействием ингибитора канонического Wnt пути iCRT14. Воздействие iCRT14 при концентрациях 5  $\mu$ M и выше полностью ингибирует рост и морфогенез как верхушек роста побегов, так и верхушек роста столонов. Однако при отмывке этого ингибитора после 7 дней воздействия мы наблюдали возобновление формирования верхушки роста, однако, вместо верхушки роста побега дифференцировалась верхушка роста столона. Данные результаты четко демонстрируют, что уровень активности Wnt канонического пути является параметром позиционной информации, участвующим в патернировании всего тела животного, а не только сигнальным каскадом «головного организатора», как предполагалось ранее.

Известно, что тип организации колонии гидроидных полипов зависит от экологической ниши животного, и определяется многими факторами такими как: тип субстрата, доступ к пище, интенсивность течения и т. д. В нашей работе мы показали, что достаточно изменения активности лишь одного сигнального пути для радикальной трансформации типа колонии и потенциальной смены экологической ниши.

Проект выполняется при поддержке РФФИ № 20-04-00978.

## The role of Wnt signaling in the regulation of the spatial organization of *Dynamena pumila* colony

Bagaeva T. S.<sup>1,2</sup>, Kuraeva D. M.<sup>3\*</sup>, Vetrova A. A.<sup>3</sup>, Kosevich I. A.<sup>1</sup>, Kraus Y. A.<sup>1,3</sup>, Kremnyov S. V.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> University of Vienna, Centre of Organismal Systems Biology, Department for Molecular Evolution and Development, Vienna, Austria

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

\* e-mail: d.kuraeva@gmail.com

Many hydrozoans species form polyp stage with various colony branching patterns, but molecular mechanisms which are the base of this diversity have not been found. According to our results, modulation of cWnt signaling leads to radical modification of colony architecture. As a result, *Dynamena pumila* demonstrate branching patterns which are typical for other hydrozoan species.

## Развитие и формирование первичного полипа *Ectopleura larynx* (Ellis & Solander, 1786),

### Tubulariidae

Ашуркова Т. П.<sup>1\*</sup>, Кунаева Д. М.<sup>2</sup>, Осадченко Б. В.<sup>3</sup>, Кремнев С. В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра эмбриологии, Москва

<sup>2</sup> Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова, лаборатория эволюции морфогенезов, Москва

<sup>3</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра зоологии беспозвоночных, Москва

\* e-mail: t.p.ashurkova@gmail.com

*Ectopleura larynx* — атекатный колониальный гидроидный полип, встречающийся в сублиторальной зоне Белого моря. Гидрант *E. larynx* характеризуется наличием двух венчиков щупалец: проксимальным и дистальным. В жизненном цикле медузоидная стадия редуцирована, колонии образуют гонофоры, из которых выходят личинки актинолы. Развитие прямое. Спустя некоторое время после выхода из гонофора актинола прикрепляется к субстрату, образуя первичный полип. В нашей работе мы исследовали раннее развитие *E. larynx* от стадии ооцита до стадии первичного полипа с помощью методов сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии.

После неравномерного дробления у *E. larynx* образуется округлый зародыш, сплюснутый по орально-аборальной оси, постепенно он приобретает звездообразную форму. Из боковых выростов звездообразной ранней личинки образуются щупальца будущего проксимального венчика щупалец, параллельно с этим формируются гастронцель и мезоглея, а на аборальном полюсе формируется ножка, которая в дальнейшем послужит для прикрепления к субстрату. На поздних стадиях развития актинолы вокруг будущего рта формируется кольцо дистальных щупалец. К стадии ранней актинолы личинка покрывается слоем гликокаликса и оболочкой. При исследовании паттерна пролиферации методом маркировки клеток с помощью EdU, было обнаружено, что на стадии ранней актинолы, синтез ДНК происходит во всем объеме личинки равномерно. При этом на более поздних стадиях можно выявить две области с повышенным уровнем синтеза ДНК — на аборальном полюсе личинки, и кольцевидная область под дистальными щупальцами.

## Development and formation of the primary polyp of *Ectopleura larynx* (Ellis & Solander, 1786),

### Tubulariidae

Ashurkova T. P.<sup>1\*</sup>, Kunaeva D. M.<sup>2</sup>, Osadchenko B. V.<sup>3</sup>, Kremnyov S. V.<sup>1,2</sup>

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

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

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: t.p.ashurkova@gmail.com

*Ectopleura larynx* is a colonial hydroid polyp that can be found at the sublittoral zone of the White Sea. We examined the early development of *E. larynx* from the oocyte stage to the primary polyp stage using scanning and transmission electron microscopy methods, as well as cell labeling using EdU.

## Организация сигнального пути TGF- $\beta$ и его активность в развитии губки *Halisarca dujardini*

Подлевских А. Л. \*, Борисенко И. Е.

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

\* e-mail: ann-vesta201395@yandex.ru

Сигнальный путь TGF- $\beta$  — один из основных путей межклеточной коммуникации, принимающий участие в развитии многоклеточных животных. Компоненты этого сигнального пути присутствуют у всех Metazoa. Суперсемейство лигандов TGF- $\beta$  включает в себя несколько семейств (TGF- $\beta$  *sensu stricto*, BMP, GDF и т. д.), участвующих в различных процессах эмбрионального и постэмбрионального развития, таких как пролиферация, миграции, дифференцировка клеток, апоптоз. Одним из важнейших процессов в эмбриональном развитии животных, которые регулируются каскадом TGF- $\beta$ , является становление полярности зародышей. Так как изменения осевой организации, такие как появление дорсо-вентральной оси и, соответственно, появление билатерально-симметричных организмов, являются одним из важнейших событий эволюции животных, изучение механизмов, с помощью которых реализуется формирование осей тела, представляется интересным и необходимым для создания полной картины эволюционного процесса. Для таких исследований особенно актуальны данные, полученные на базальных таксонах многоклеточных, поскольку по ним можно предположить механизм появления новых планов строения тела у животных. Одной из древнейших групп Metazoa является тип Porifera (Губки). Объектом нашего исследования стала губка *Halisarca dujardini* (класс Demospongiae).

Ранее нами были определены последовательности ортологов генов, кодирующих лиганды (8 молекул), рецепторы (6 молекул) и Smad-белки (6 молекул), участвующие в TGF- $\beta$ -сигналинге, синтезированы зонды для гибридизации *in situ*. Материал для исследования был собран в июле 2019 года на УНБ «Беломорская» в бухте Юшковская и проливе Сухая Салма с помощью кошкования. Губки в большом количестве были найдены на талломах бурой водоросли *Laminaria*, из собранного материала отбирались и фиксировались особи, в которых были найдены зародыши. Определены стадии развития, на которых находятся зародыши (ооциты, разные стадии дробления, личинки). На данный момент проведена гибридизация *in situ* с ортологами лигандов, которая показывает наличие экспрессии некоторых из них на разных стадиях развития губки. Будут проведены эксперименты по выявлению паттерна экспрессии рецепторов TGF- $\beta$  и локализации активных форм Smad-белков при помощи непрямой иммуноцитохимии и конфокальной микроскопии.

Проект выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-34-00398, с использованием оборудования РЦ РМукТ СПбГУ.

## Organization of the TGF- $\beta$ signaling pathway and its activity in the demosponge *Halisarca dujardini* development

Podlevskikh A. L. \*, Borisenko I. E.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: ann-vesta201395@yandex.ru

The TGF- $\beta$  signaling pathway is one of the major intercellular communication pathways involved in the development of multicellular animals. Components of this signaling pathway are present in all Metazoa and it is involved in establishing dorso-ventral axis in Bilateria. Here, we study the TGF- $\beta$  signaling pathway structure and its expression during the embryonic development of a sponge *Halisarca dujardini*.

## Особенности прогрессивного развития примморфов известковых губок Белого моря (Calcarea, Porifera)

Фролова В. С.<sup>1\*</sup>, Лавров А. И.<sup>2,3</sup>, Ересковский А. В.<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра эмбриологии, Москва

<sup>2</sup> Беломорская Биологическая станция им. Н. А. Перцова, Биологический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>3</sup> Кафедра эмбриологии, биологический факультет, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Средиземноморский Институт экологии и биоразнообразия, Университет Марселя, Марсель, Франция

<sup>5</sup> Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, лаборатория эволюции морфогенезов, Москва

\* e-mail: frolova.veronika.2014@post.bio.msu.ru

Губки являются наиболее древними водными многоклеточными животными, для которых характерно специфичное гистологическое строение, обуславливающее высокую пластичность и мобильность их клеточных структур. Одной из форм проявления такой пластичности является реагрегация — способность к восстановлению из диссоциированных клеток. Целью данного исследования был анализ прогрессивного развития из диссоциированных клеток у представителей класса Calcarea: *Leucosolenia cf. variabilis* и *Sycon* sp.

Через некоторое время после того, как первичные многоклеточные агрегаты сформировались и перешли на стадию ранних примморфов, начинается их прогрессивное развитие. Постепенно поверхность примморфов *Leucosolenia cf. variabilis* полностью покрывается экзопинакоцитами; завершение эпителизации можно наблюдать уже к 360 часам после диссоциации (15-е сутки), однако есть различия между экзопинакоцитами в примморфах и экзопинакоцитами интактных тканей: в первом случае их форма уплощенная, тогда как во втором — Т-образная.

Также в ходе прогрессивного развития внутри примморфов формируются полости, в просвет которых направлены жгутики хоаноцитов. Такие полости, вероятно, являются предпосылкой к формированию водоносной системы.

В дополнение были проведены первые исследования по спикүлогенезу. На 10-е сутки после диссоциации нами были зафиксированы формирующие триактины. Формирование диактин мы не зарегистрировали, но полагаем, что они образуются на более поздних стадиях развития.

Также нами было проведено иммуноцитохимическое исследование пролиферативной активности клеток во время реагрегации на стадиях 24–240 часов после диссоциации. Было установлено, что клетки в развивающихся агрегатах способны накапливать генетический материал и делиться митозом. Также результаты иммуноцитохимического исследования подтвердили, что хоаноциты действительно способны сохраняться в процессе реагрегации известковых губок.

В культурах *Sycon* sp. процесс реагрегации протекал более интенсивно: через 168 часов после диссоциации формировались первые триактины, а диактинны начинали формироваться на 404 часа после диссоциации. К 168 часам после диссоциации поверхность полностью покрывалась экзопинакоцитами (стадия настоящих примморфов) и уже начинали формироваться хоаноцитные полости. Под формирующимся слоем экзопинакодермы образовывался слой коллагена.

Иммуногистохимическое исследование агрегатов *Sycon* sp. не выявило особых отличий между агрегатами *Sycon* sp. и *Leucosolenia cf. variabilis*.

Исследование поддержано грантами РФФИ №17-14-01089, РФФИ №19-04-00563 и РФФИ №19-04-00545.

## Characteristics of the progressive development of primmorphs of calcareous sponges of the White Sea (Calcarea, Porifera)

Frolova V. <sup>1\*</sup>, Lavrov A. <sup>2,3</sup>, Ereskovsky A. <sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Biological faculty, Department of Embryology, Moscow

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

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

<sup>4</sup> Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale, Aix Marseille University, Station Marine d'Endoume, Avignon University, Marseille, France

<sup>5</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Evolution of Morphogenesis Laboratory, Moscow

\* e-mail: frolova.veronika.2014@post.bio.msu.ru

This study focuses on the progressive development from dissociated cells of two White Sea sponges. By 168–360 hours after dissociation, an exopinacoderm layer was completely formed on the surface of aggregates, at the same time first spicules began to form. Also, immunocytochemical studies of aggregates were carried out.

## Особенности поведения клеток в процессе формирования регенеративной мембраны у известковой губки *Leucosolenia cf. variabilis*

Скорентцева К. В.<sup>1\*</sup>, Лавров А. И.<sup>2,3</sup>, Саидова А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра клеточной биологии и гистологии, Москва

<sup>2</sup> Беломорская Биологическая станция им. Н. А. Перцова, Биологический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, биологический факультет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

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

Губки — наиболее древние из ныне живущих многоклеточных животных. Представители типа обладают уникальным гистологическим строением, которое в значительной мере обуславливает их выдающиеся способности к клеточным перестройкам, миграциям, а также регенерации. Целью данного исследования стало описание особенностей процесса регенерации оскулярной трубки при ее разрезании на кольца шириной 2–4 мм у губки *Leucosolenia cf. variabilis*.

В течение первых 6 часов после операции поверхность среза закрывается за счет смыкания слоев экзопинакодермы и хоанодермы. Клетки хоанодермы при этом утрачивают воротничок микроворсинок и жгутик, уплощаются и претерпевают трансдифференцировку в эндопинакоциты. В дальнейшем от периферии к центру кольца начинает расти регенеративная мембрана. Ее верхний слой формируют уплощенные экзопинакоциты, морфологически отличающиеся от экзопинакоцитов интактных тканей, имеющих Т-образную форму.

В процессе роста мембрана проходит через несколько хорошо различимых стадий: ее тонкий ободок на периферии срезанного кольца постепенно расширяется, заполняя в течение первых суток четверть, половину и, наконец, всю поверхность среза. Скорость этого процесса непостоянна и увеличивается нелинейно. На следующие сутки мембрана утолщается за счет обратной трансдифференцировки эндопинакоцитов в хоаноциты по всей своей площади в направлении от периферии к центру. Кроме того, на периферии мембраны появляются многочисленные пороциты, что позволяет говорить об образовании полноценной стенки тела. В это же время можно наблюдать активные процессы синтеза спикул клетками мезохила.

Таким образом, в регенеративной мембране на всех этапах ее формирования можно выделить три слоя клеток: уплощенные полигональные экзопинакоциты, различные по поведению и функциям клетки мезохила и эндопинакоциты, постепенно трансформирующиеся обратно в хоаноциты.

Благодаря данным, полученным иммуногистохимическим методом, было установлено, что формирование мембраны идет за счет миграции клеток и образования межклеточных контактов в месте повреждения, при этом не происходит существенного увеличения количества пролиферирующих клеток. То есть, регенерация базируется на перемещении и трансдифференцировке уже существовавших клеток. Соответственно, можно говорить о регенерации путем морфаллаксиса, происходящего за счет эпителиальных морфогенезов.

Иммуноцитохимическое окрашивание позволило выявить структуры актинового цитоскелета и промежуточные филаменты в клетках животного и показать наличие межклеточных контактов. Кроме того, наблюдения, полученные с помощью цейтраферной съемки, позволяют предположить, что клетки мезохила играют значительную роль в регенерации, так как их активность сфокусирована на краю роста мембраны на протяжении всего времени ее образования. Изучение зафиксированных образцов и полученных видеоматериалов позволило описать стадии клеточных преобразований в процессе регенерации.

Исследование поддержано грантом РФФИ №17-14-01089 (иммуноцитохимические исследования); РФФИ №19-04-00563.

## Characteristics of cell behavior during the regenerative membrane formation in calcareous sponge *Leucosolenia cf. variabilis*

Skorentseva K.<sup>1\*</sup>, Lavrov A.<sup>2,3</sup>, Saidova A.<sup>1</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

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

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

The behavior of cells in calcareous sponge *Leucosolenia cf. variabilis* during the process of regenerative membrane formation was studied. The migration and transdifferentiation of cells were revealed. No distinct evidence of cell proliferation was found. The results are based on data from immunocytochemistry, time-lapse recording and scanning electron microscopy.

## The development of the whole sponge *Leucosolenia cf. variabilis* from the body wall piece

Koynova A. S.<sup>1\*</sup>, Lavrov A. I.<sup>2</sup>, Ereskovsky A. V.<sup>3,4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE), Aix Marseille University, CNRS, IRD, Avignon University, Station Marine d'Endoume, Marseille, France

<sup>4</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Biology, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: alex.koinova@mail.ru

The morphological and cellular plasticity of sponges (phylum Porifera) allows them to adapt to the variations in the environmental conditions. Therefore, they often dominate the benthic communities in the diverse marine and freshwater ecosystems from tropical to polar regions. The ecological success of the sponges is partially a result of their rapid regeneration capacity enabling them to recover from damages. Sponges are known to possess remarkable regenerative and reconstitutive abilities ranging from the re-building of a functional body from dissociated cells to wound healing or body part regeneration. As an ancient animal lineage, sponges are important models in studies aimed at understanding of the evolution of animal regeneration mechanisms.

The present study is devoted to the *Leucosolenia cf. variabilis* (Montagu, 1818) (class Calcarea) regeneration. This is a common species in littoral habitats along the North European coasts from the English Channel to the White Sea. It was showed their quick wound healing and high regeneration capacity after different surgical interventions indicating that *Leucosolenia* is a convenient model for sponge regeneration investigations.

The aim of our study is to discover the mechanism of the whole sponge restoration from the small piece of the *L. cf. variabilis* body wall using the light, confocal and electron microscopy. Sponge wall consists of two epithelial sheets—exopinacoderm and choanoderm—and the mesohyl inside. The cells possess cell junctions. Our investigation has shown that two main events take part in the regeneration process from the piece of *L. cf. variabilis* body wall to the well-functioning whole sponge belong to (1) the transdifferentiation of choanocytes into endopinacocytes which build the regenerative membrane and (2) the proliferation of the choanocytes.

The epithelial morphogenesis plays the main role during the development of the regenerative membrane. The regenerative membrane is formed due to the convergent spreading and fusion of epithelial layers: the exopinacoderm on the external side of the membrane and the endopinacoderm—on the internal. The formation of the endopinacoderm is most likely occurs due to the transdifferentiation of the choanocytes near the wound edges into endopinacocytes through their flattening and losing of flagellum and microvilli collar. Thus, at this stage, the regenerative membrane consists of two epithelial layers (exo- and endopinacoderm) and the thin mesohyl between them. As a result of the epithelial morphogenesis the piece of the *L. cf. variabilis* body wall changes its form and size. It becomes larger and acquires the tubular form that is similar to the whole sponge shape.

*The study was supported by grant from RFBR № 19-04-00563.*



## **Клонирование и анализ нуклеотидной последовательности ретротранспозона Pao из генома трематоды *Himasthla elongata***

Попик М. С.<sup>1\*</sup>, Соловьева А. И.<sup>2,3</sup>, Подгорная О. И.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург

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

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

\* e-mail: masha.pm97@gmail.com

Одной из фундаментальных биологических проблем является выявление механизмов формирования и сохранения разнообразия многоклеточных животных, размножение которых не сопровождается половым процессом. В связи с этим большой интерес представляют уникальные жизненные циклы трематод, заключающиеся в чередовании партеногенетических и гермафродитных поколений.

Долгое время считалось, что, как и у других трематод, все партениты трематод *Himasthla elongata*, произошедшие от одного мирацидия, должны нести одинаковый генотип, то есть, являться клонами. Ранее с помощью метода AFLP (Amplified fragments length polymorphism) выявили внутриклональный полиморфизм партенит *H. elongata*. Причины появления этой изменчивости до конца не установлены, поэтому в настоящее время ключевым вопросом является исследование организации генома. В результате клонирования и секвенирования фрагментов AFLP выявили последовательности мобильных элементов (МЭ) разных групп, причем большая часть представлена ретротранспозонами, одним из которых является элемент Pao. Ретроэлементы Pao найдены преимущественно в полиморфных фрагментах AFLP.

Элементы Pao обнаружены в транскриптом, а также их экспрессия подтверждена ПЦР на матрице кДНК церкарий. Это может свидетельствовать о наличии активных копий. Продукты ПЦР клонированы, с помощью сервисов NCBI (Blast, Conserved domain search) проанализированы полученные нуклеотидные последовательности. В одном клонированном фрагменте обнаружена открытая рамка считывания пептидазы ретротранспозона Pao, члена суперсемейства белков pfam05380.

*Проект выполняется при поддержке грантов РФФИ № 17-04-02161, РНФ № 19-74-20102.*

## **Cloning and analysis of the Pao retrotransposon nucleotide sequence from the trematode *Himasthla elongata* genome**

Popik M. S.<sup>1\*</sup>, Solovyeva A. I.<sup>2,3</sup>, Podgornaya O. I.<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint Petersburg

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

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

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

\* e-mail: masha.pm97@gmail.com

Recently intraclonal larvae polymorphism of the trematode *Himasthla elongata* was revealed by AFLP (Amplified fragments length polymorphism) method. Pao LTR-retroelements were identified in sequenced AFLP fragments. Pao transcription was confirmed by PCR on the cercaria cDNA matrix, that allows to suggest the existence of Pao active copies.

## Роль флоротаннинов и ванадий-зависимой галопероксидазы в раннем эмбриональном развитии *Fucus vesiculosus* L.

Лемешева В. С.<sup>1\*</sup>, Биркемайер К.<sup>2</sup>, Гэрбару Д.<sup>3</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, Германия

<sup>3</sup> Университет Св. Франциска Ксавьера, кафедра биологии, Канада

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

Оплодотворение и эмбриональное развитие у фукусовых водорослей происходит в воде, независимо от материнского организма. Яйцеклетка фукоидов изначально не имеет клеточной стенки (КС). Синтез КС начинается в первые минуты после оплодотворения, а через 3–3,5 ч на основе ее матрикса формируется адгезивный материал для прикрепления зиготы к субстрату. Спустя 6 ч после оплодотворения состав КС стабилизируется, а адгезив затвердевает и становится нерастворимым. Через 14–16 ч после оплодотворения зигота прорастает — на ее поверхности появляется ризоидальный выступ. Затем, через 20–22 ч после оплодотворения, происходит первое деление зиготы. Существенный вклад в процессы, предшествующие прорастанию зигот фукоидов, вносят ферменты ванадий-зависимые галопероксидазы (V-ГПО) и их субстраты флоротаннины (специфическая группа полифенолов бурых водорослей). Предполагается, что реакции, катализируемые V-ГПО, приводят к полимеризации флоротаннинов и формированию поперечных сшивок между молекулами флоротаннинов и альгинатов (основной компонент матрикса КС бурых водорослей). Именно в результате этих процессов клеточная стенка зигот упрочняется и окончательно структурируется, а адгезивный материал теряет растворимость.

Успешное прохождение ключевых физиологических процессов, сопровождающих ранний эмбриогенез фукоидов, требует строгой координации синтеза и локализации всех задействованных метаболитов. Цель данного исследования состояла в том, чтобы проследить динамику активности V-ГПО, содержания H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, общего содержания внутриклеточных и КС-ассоциированных флоротаннинов, а также относительного содержания флороглюцина (мономера флоротаннинов) и нескольких его олигомеров в ходе раннего эмбриогенеза *Fucus vesiculosus* L.

Показано, что развитие зигот *F. vesiculosus* сопровождается синхронными изменениями активности V-ГПО и содержания ее субстратов — пероксида водорода и связанных с клеточной стенкой флоротаннинов. Включение флоротаннинов в КС зигот фукуса начинается уже через час после оплодотворения, и этот процесс сопровождается резким увеличением содержания H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и галопероксидазной активности. При этом наиболее интенсивный рост активности V-ГПО приходится на первые 6 ч развития зиготы. Эти данные подтверждают ключевую роль V-ГПО в формировании клеточной стенки и адгезивного материала фукусовых водорослей. Источником встраиваемых в КС фенольных соединений, по-видимому, служит внутриклеточная фракция флоротаннинов, содержание которой снижается в первые 6 ч эмбриогенеза, после чего начинает плавно возрастать, выходя на исходный уровень на 3 сутки развития. Возможно, при этом во внутриклеточной фракции происходит *de novo* биосинтез флоротаннинов, поскольку в ходе развития зиготы, а также в течение первых девяти дней эмбриогенеза *F. vesiculosus* наблюдаются существенные изменения в содержании мономера флоротаннинов, флороглюцина, а также его димеров и тримеров.

Проект выполнен при поддержке РФФИ (грант № 17-04-01331).

## Role of phlorotannins and vanadium-dependent haloperoxidase in the early embryogenesis of *Fucus vesiculosus* L.

Lemesheva V.<sup>1\*</sup>, Birkemeyer C.<sup>2</sup>, Garbary D.<sup>3</sup>, Tarakhovskaya E.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> St. Francis Xavier University, Department of Biology, Canada

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

Synchronous changes of vanadium-dependent haloperoxidase activity, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content and content of cell-wall-associated phlorotannins were shown during embryogenesis in *Fucus vesiculosus*. This supports the hypothesis of V-haloperoxidase playing the key role in phlorotannin incorporation into the fucoid zygote cell wall and adhesive material.

## Молекулярные аспекты регуляции развития и регенерации седентарной аннелиды

### *Pygospio elegans* (Spionidae)

Астер К. З.<sup>1\*</sup>, Платова С. Е.<sup>1</sup>, Старунов В. В.<sup>2,3</sup>, Нестеренко М. А.<sup>2</sup>, Кулакова М. А.<sup>1</sup>, Новикова Е. Л.<sup>1</sup>

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

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

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

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

Annelida, принадлежащие к группе лотрохозойных животных, становятся все более популярны в качестве объектов изучения механизмов регуляции развития и регенерации. *Pygospio elegans*, небольшая, гетерономно сегментированная аннелида из семейства Spionidae, обладает прекрасными регенерационными потенциальными, так как может восстановить после повреждения и передний, и задний концы тела за короткий период времени. В рамках изучения молекулярных механизмов, контролируемых восстановительные процессы *P. elegans*, мы обратили внимание на два консервативных пути сигналинга — Wnt и Hedgehog (Hh). Wnt-сигналинг широко распространен в природе и является, возможно, одним из самых древних сигнальных путей. Известна роль белков Wnt в формировании переднезадней оси у большинства билатеральных животных, в том числе, у аннелид — они экспрессируются в задней части зародыша и ингибируются в передней. Сигнальный путь Hedgehog — один из ключевых регуляторов развития всех билатеральных животных; он важен как в раннем эмбриогенезе, так и на более поздних стадиях развития. Роль этого сигнального пути в развитии аннелид является объектом изучения сравнительно недолго, и на данный момент известно, что у полихет Hh-сигналинг участвует в формировании сегментов тела.

Материал для изучения был собран в литоральной зоне в окрестностях биологической станции Дальние Зеленцы (Баренцево море) в августе 2019 года. Из стадии 7 дней регенерации была выделена тотальная РНК и было произведено секвенирование транскриптома на Illumina HiSeq на базе РЦ «Биобанк» СПбГУ. В аннотированном транскриптом было обнаружено 22 гена, относящихся к Wnt-сигналингу и 7 генов, имеющих отношение к Hh-сигналингу. Для дальнейшей работы мы выбрали три гена, кодирующих компоненты Hh-сигналинга (лиганд Hedgehog, трансмембранный рецептор Patched и мембранный белок Smoothened) и три гена, кодирующих белки канонического Wnt-сигналинга (лиганд Wnt1, трансмембранный рецептор Wntless и цитоплазматический белок  $\beta$ -катенин). В данный момент мы ведем работу по клонированию выбранных генов из тотальной РНК 7-дневных регенератов с применением кита Mint (Евроген). В дальнейшем мы планируем проанализировать экспрессию этих генов методом гибридизации in situ (WMISH) в ходе нормального роста и на разных стадиях регенерации *P. elegans*.

Исследование поддержано грантом РФФИ 18-04-00450 и бюджетной программой АААА-А19-119020690076-7.

## Molecular aspects of regulation of development and regeneration of sedentary annelid

### *Pygospio elegans* (Spionidae)

Aster K. Z.<sup>1\*</sup>, Platova S. E.<sup>1</sup>, Starunov V. V.<sup>2,3</sup>, Nesterenko M. A.<sup>2</sup>, Kulakova M. A.<sup>1</sup>, Novikova E. L.<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup> Institute of Zoology RAS, laboratory of evolutionary morphology, Saint Petersburg

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

*Pygospio elegans* is a spionid polychaete that has an ability to regenerate both anterior and posterior body parts. We study the role of the components of Hedgehog (Hedgehog-ligand, Patched, Smoothened) and Wnt (Wnt1, Wntless, beta-catenin) pathways in regeneration. At the moment we are cloning selected genes from the total RNA.

## Регенерация нервной системы у *Pygospio elegans*

Бармасова Г. А.<sup>1\*</sup>, Новикова Е. Л.<sup>2</sup>, Старунов В. В.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет, кафедра эмбриологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: st054827@student.spbu.ru

Многощетинковые черви известны своими широкими регенеративными способностями, при этом у представителей разных семейств данные способности выражены в различной степени. Наиболее изучены в этом отношении *Alitta virens* и *Platynereis dumerilii*, ставшие в настоящее время стандартными модельными объектами для исследования различных процессов развития. Тем не менее, данные виды не способны к регенерации переднего конца тела. Таким образом, большой интерес для исследования представляют другие полихеты, хорошо регенерирующие как задний, так и передний концы тела. К их числу относится *Pygospio elegans* Claparède 1863, исследованию регенерации нервной системы которого и посвящена данная работа.

*P. elegans* — вид полихет из семейства Spionidae, широко распространенный в северных морях. Это небольшой литоральный червь, проводящий всю жизнь в песчаной трубке. Тело *P. elegans* можно подразделить на следующие отделы: голова с длинными подвижными пальпами; грудной отдел, состоящий из 12–13 сегментов; абдоминальный отдел, представленный сегментами, несущими жабры, длина которого варьируется; хвостовой отдел (до 10–15 сегментов) и пигидий.

Нами была исследована динамика регенерации катехоламинергической системы *P. elegans* с использованием гистохимического метода конденсации моноаминов с глиоксильной кислотой. Материал был отобран на Баренцевом море, в районе пос. Дальние Зеленцы. Червей разрезали в районе двадцатого сегмента, после чего содержали в чашках Петри при температуре +18 °С в течение двух недель. Визуализацию результатов проводили с помощью конфокального микроскопа Leica TCS SP5.

Первые этапы регенерации (1–2 суток после ампутации) характеризуются затягиванием раневой поверхности и последующим образованием бластемы. Вслед за этим начинается процесс органогенеза. В это время наблюдается быстрый рост нейронов в области бластемы и формирование новых ганглиев нервной цепочки. По прошествии двух недель передние регенераты восстанавливают голову и недостающие грудные сегменты со всеми присущими им элементами катехоламинергической нервной системы. Задние регенераты полностью восстанавливают пигидий и начинают последовательно формировать новые хвостовые сегменты.

Работа выполнена 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\\_24](http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/?sphra_se_id=88790_24)). Исследование поддержано грантом РФФИ 18-04-00450 и бюджетной темой АААА-А19-119020690076-7.

## Regeneration of nervous system of *Pygospio elegans*

Barmasova G. A.<sup>1\*</sup>, Novikova E. L.<sup>2</sup>, Starunov V. V.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Saint Petersburg University, Department of Embriology, Saint Petersburg

\* e-mail: st054827@student.spbu.ru

Our research is devoted to the investigation of regenerative abilities of *Pygospio elegans* Claparède 1863, a tube-dwelling worm from Spionidae family, which is remarkable for restoring both anterior and posterior parts. We focused on studying the dynamics of catecholaminergic system using histochemical method of monoamine condensation with glyoxylic acid.

## Expression of *foxA* homologs in embryonic development and regeneration of the oligochaete

### *Enchytraeus coronatus*

Melentiy A.\*, Kostyuchenko R.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: alexandermelentiy@gmail.com

*Fox* genes are identified in a wide range of living organisms and have many functions: they are pioneer factors and play a key role in transcription regulation, are involved in morphogenesis and differentiation of primordia during early embryonic development, and specification of cell lines. A detailed study of these genes and their functions is a promising task for developmental biology.

For bilaterian animals, the role of *foxA* is conservative and consists in the specification of the endodermal cell line and the formation of the digestive system. In most of the studied bilaterians, *foxA* expression domains were detected in the cells surrounding the blastopore. In the development of animals with the formation of a lecithotrophic larva and signs of embryonation, a temporary shift in the expression of *foxA* to later stages may be observed. Such a phenomenon has been described in nereid polychaetes, *Capitella*, and *Themiste*.

In most polychaetes, *foxA* subfamily is represented by one homolog. In the leech *Helobdella*, three homologs are identified, which, in addition to performing conservative functions, are involved in the formation of nerve ganglia and suckers. Until now, the problem of the formation of the digestive system, as well as the participation of *foxA* in this process, has not been investigated in oligochaetes.

The aim of this work is to study the expression of *foxA* homologs during the early development and regeneration of the oligochaete *Enchytraeus coronatus*. According to our data obtained in the analysis of the transcriptome, 4 *foxA* homologs were identified in *E. coronatus*. For each of the *foxA* homologs studied, a distinct expression pattern was observed during *in situ* hybridization. In addition to expression domains associated with gut specification, we observed *foxA* expression in the primordia of the nervous system, as well as in cells of presumably mesodermal origin. Also, expression was observed in the growth zone and newly formed foregut during regeneration.

Thus, among leeches and oligochaetes, there is an evolutionary trend to increase the number of homologs of the *foxA* gene, suggesting a possible expansion of functions, including specification of cell lines and involvement of evolutionarily advanced structures, which is confirmed by the results of this work and literature data. Such features may be associated with modifications of embryonic development in this group.

*This research was supported by RFBR grants №19-04-01111-a, and performed at the Research park of Saint Petersburg State University "Center for Molecular and Cell Technologies".*

## Экспрессия генов-маркеров половых и мультипотентных клеток в эмбриональном и постэмбриональном развитии олигохеты *Enchytraeus coronatus*

Никанорова Д. Д. \*, Костюченко Р. П.

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

\* e-mail: daria.nikanorova@mail.ru

Гены программы поддержания половых и мультипотентных клеток (Germline/Multipotency Program genes — GMP), в частности *vasa*, *piwi*, *nanos*, *pumilio*, *pl10*, являются надежными маркерами недифференцированного состояния клеток. У многих видов аннелид мРНК этих генов обнаружена в клетках бластемы, раневого эпителия и задней зоны роста во время регенерации. Экспрессия этих генов не ограничена соматическими клетками: транскрипты *vasa* и *piwi* локализованы в первичных половых клетках (ППК) и в ооцитах многих аннелид.

Целью данной работы является анализ паттерна экспрессии генов GMP в ходе эмбриогенеза и регенерации олигохеты *Enchytraeus coronatus*.

В результате анализа транскриптома *E. coronatus* мы обнаружили гомологи генов, ответственных за поддержание стволового состояния клеток: *vasa*, *piwi*, *nanos*, *pl-10* и другие. Продукты генов *Vasa* и *PL-10* являются РНК-хеликазами, модулирующими матричные процессы; белки *Nanos* и *Pumilio* связывают мРНК, необходимые для соматической дифференцировки. Белки *Piwi* обеспечивают сайленсинг транспозонов и РНК-интерференцию.

Согласно нашим данным, процесс регенерации у олигохеты *E. coronatus* осуществляется преимущественно путем эпиморфоза с образованием бластемы. Клетки бластемы активно пролиферируют, что подтверждается включением метки EdU. Кроме того, впервые для представителя рода *Enchytraeus*, размножающегося исключительно половым путем, было описано восстановление функционирующих гонад в ходе задней регенерации. Транскрипты гомологов *Eco-vasa1*, *Eco-piwi1a*, *Eco-nanos* и *Eco-pl10* были обнаружены в клетках регенерационной бластемы. Это указывает на дедифференцировку клеток с последующей пролиферацией и редифференцировкой. Однако, клетки, содержащие мРНК *vasa*, были обнаружены в предшествующих ране сегментах в ходе передней регенерации, что может говорить о миграции клеток.

Анализ паттерна экспрессии генов GMP (*piwi*, *vasa*, *nanos*, *pl10*) в ходе эмбриогенеза позволяет выяснить наличие популяции резервных недифференцированных клеток у *E. coronatus* и определить участие этих клеток в восстановительных морфогенезах, в частности, в восстановлении клеток половой линии. Кроме того, в ходе эмбриогенеза, как и во время регенерации, происходит формирование задней зоны роста и гонад. Использование молекулярных маркеров, специфичных для клеток половой и стволовой линии, позволит обнаружить сходства и/или различия этих процессов на разных этапах онтогенеза *E. coronatus*.

Последующий сравнительный анализ тонких различий у близкородственных видов аннелид поможет раскрыть механизмы, инициирующие и регулирующие процесс регенерации в онтогенезе и его изменения в ходе филогенеза.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №19-04-01111-а, 18-34-00962 -мол-а) с использованием оборудования РЦ РМукТ СПбГУ.

## Expression of the Germline/Multipotency Program genes in embryonic and postembryonic development of *Enchytraeus coronatus*

Nikanorova D. D. \*, Kostyuchenko R.

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: daria.nikanorova@mail.ru

Germline/Multipotency Program (GMP) genes are suggested to be markers of undifferentiated cell state. We identified homologs of GMP genes including *vasa*, *piwi*, *nanos*, *pl10* in transcriptomic data of *Enchytraeus coronatus*. Using WMISH we showed that homologs of studied genes are differentially expressed during embryogenesis and regeneration.

## **On the relationship between regenerative processes and sexual reproduction in the life cycle of annelids**

*Kupriashova E.\**, *Kostyuchenko R.*, *Kozin V.*

Saint Petersburg University, Department of Embryology, Saint Petersburg

\* e-mail: eekupr@mail.ru

Energy investment between somatic functions and reproduction is dynamically coordinated at different stages of animals' life cycle. Among bilaterians, annelids demonstrate one of the most amazing diversity of life histories, which may vary from sexual breeding followed by direct or indirect (larval) development to strictly asexual reproduction via distinct modes of fission (architomy, paratomy, stolonization). Sexual maturation on one hand and regenerative processes including asexual development on another hand are usually thought to antagonize each other. The regulatory mechanisms and phenomenology of these opposite processes in annelids mostly remain a mystery. Here we aimed to propose new models and approaches to elucidate relationships between somatic and reproductive aspects of annelid ontogeny.

Naidids are tiny transparent freshwater oligochaetes, being famous for their ability to propagate asexually. In wild nature, sexually mature individuals are quite rare, usually found in autumn. During the warm period, they actively proliferate by transverse fission. Most naidid worms have never been observed to reproduce sexually under laboratory conditions. Recently we described developing mature individuals of *Pristina longiseta* with well-developed reproductive system and germ cells. These sexualized worms have been propagated asexually by paratomy for over 20 years in our lab. In addition, we found cocoons, typical for oligochaetes. It is important to note that in this species the processes of asexual reproduction and maturation do not compete with each other.

Externally similar, but profoundly different reproductive pattern possess come syllid polychaetes. Their sexual maturation is accompanied by striking changes in anatomy and behavior that is called epitoky. Epitokous transformation may occur only in posterior part of the worm, which can be autotomize and regenerate all missing structures, thus giving rise to a new (sexual) generation. In contrast to syllids, regeneration ability in Nereididae family strongly inhibits differentiation of gametes and epitoky. These phenomena have long been known to be under hormonal control emitted by the cerebral neuroendocrine system. For nereids we used single posterior amputation and double amputation of the posterior and anterior body segments, which removed the cerebral ganglion as potential regulatory center. The initial steps of regeneration seem to be independent of the cerebral brain, but decapitated ("headless") fragments didn't proceed to normal segmentation and growth. Searching for molecular regulators of regeneration and reproduction, we established the first knock-out mutant strain of *Platynereis dumerilii*. This helped to discover new for annelids, but unexpectedly conserved hormonal substances, such as methylfarnesoate and corazonin/GnRH-like signaling.

*This work was funded by the RFBR grants 18-34-00962 and 18-04-01335.*

**Примеры прямого взаимодействия корнеголовых ракообразных из семейств Peltogastridae и Peltogasterellidae с нервной системой хозяина**

Мирослюбов А. А.<sup>1\*</sup>, Илюткин С. А.<sup>2</sup>, Нестеренко М. А.<sup>2</sup>, Борисенко И. Е.<sup>3</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>2</sup>,  
Лапшин Н. Е.<sup>2</sup>, Арбузова Н. А.<sup>2</sup>

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

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

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

\* e-mail: aal\_mirol@inbox.ru

Корнеголовые ракообразные (Rhizocephala) являются одними из самых необычных паразитических организмов. Они оказывают значительное влияние как на организм конкретного хозяина, так и на популяции хозяев и на сообщества в целом. В ходе длительной эволюции и приспособления к эндопаразитическому образу жизни они, с одной стороны, утратили почти все признаки, присущие своим свободноживущим родственникам, а с другой, приобрели высокоспециализированные механизмы управления организмом хозяина. Корнеголовые «умеют» брать под контроль физиологический и гормональный статус хозяина, включая линочный цикл, а также изменять его морфологию и поведение. Однако до сих пор не известно, с помощью каких механизмов и морфологических структур осуществляется взаимодействие этих паразитов с хозяином.

Целью данного исследования было выявить сайты взаимодействия паразита с нервной системой хозяина на примере двух видов корнеголовых ракообразных: *Peltogaster paguri* сем. Peltogastridae и *Peltogasterella gracilis* сем. Peltogasterellidae.

В результате данного исследования удалось обнаружить два потенциальных сайта паразито-хозяинного взаимодействия — два участка прямого контакта паразита с нервной системой хозяина. Так было обнаружено, что некоторые столоны *Peltogaster paguri* и *Peltogasterella gracilis* ассоциированы с ганглиями абдоминального участка брюшной нервной цепочки хозяина. Эти столоны прорастают сквозь оболочку ганглия и располагаются непосредственно в толще нервной ткани хозяина. Терминальные участки этих столонов преобразованы в специализированные органы бокаловидной формы. По своей тканевой организации и ультраструктуре эти органы значительно отличаются от обычных трофических столонов. В клетках бокаловидного органа обнаруживаются обширные поля ЭПР и множественные митохондрии, что указывает на высокую синтетическую и транспортную активность этой ткани. Кутикула, выстилающая внутреннюю поверхность бокаловидного органа, также значительно отличается от кутикулы, покрывающей обычные трофические столоны. Расположение в толще нервной ткани, необычная морфология и ультраструктура клеток, отличающаяся от таковой в остальных участках интерны, позволяют сделать вывод о том, что эти бокаловидные структуры являются наиболее вероятными сайтами паразито-хозяинного взаимодействия.

В ходе работы был обнаружен еще один сайт прямого контакта паразита с нервной системой хозяина. Трофические столоны паразита оказались оплетены сетью из нейронов периферической нервной системы хозяина. Скорее всего, этот нервный плексус также можно рассматривать как сайт непосредственной связи между паразитом и хозяином. Мы предполагаем, что паразит секретирует нейротропные агенты и таким образом индуцирует рост нейронов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_а №18-34-00727.

**Direct contact between rhizocephalans from Peltogastridae and Peltogasterellidae families with host's nervous system**

Miroliubov A. A.<sup>1\*</sup>, Ilutkin S. A.<sup>2</sup>, Nesterenko M. A.<sup>2</sup>, Borisenko I. E.<sup>3</sup>, Liangusova A. D.<sup>2</sup>, Lapshin N. E.<sup>2</sup>,  
Arbuzova N. A.<sup>2</sup>

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

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

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

\* e-mail: aal\_mirol@inbox.ru

Rhizocephalans evolved unique mechanisms that allow them to take control over the host's body. In this particular study we described two potential sites for direct interaction between parasite and host: (1) highly modified tips of rootlets lying inside nervous ganglia of the host (goblet-shaped organs) and (2) nervous network enlacing trophic part of interna.



## Интеграция паразитических ракообразных в нервную систему хозяина на примере

### *Lernaeodiscus* sp. (Cirripedia: Rhizocephala)

Лапшин Н. Е.<sup>1\*</sup>, Арбузова Н. А.<sup>1</sup>, Илюткин С. А.<sup>1</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>1,2</sup>

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

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

\* e-mail: lapshin-nikita@mail.ru

Корнеголовые раки (Rhizocephala) являются высокоспециализированными паразитами десятиногих ракообразных. В связи с адаптациями к эндопаразитизму дефинитивное тело этих животных утратило почти все черты, присущие свободноживущим родственникам. Тело взрослого животного представлено системой ветвящихся столонов, распространяющихся по практически всему организму хозяина. Способ взаимодействия паразитов группы Rhizocephala со своими хозяевами представляет большой интерес с точки зрения фундаментальной науки, так как эти паразиты способны оказывать существенное влияние не только на конкретный организм хозяина, но и на популяции и структуру сообществ. Известно, что столоны представителей видов *Peltogaster paguri*, *Peltogasterella gracilis*, *Polyascus polygenea*, а также *Sacculina pilosella* проникают непосредственно в ганглии брюшной нервной цепочки своего хозяина. Часто на концах таких столонов обнаруживаются специализированные «бокаловидные органы», которые значительно отличаются от обычных трофических столонов. Данная работа посвящена исследованию вида *Lernaeodiscus* sp., и выполняется в рамках общего проекта по исследованию прямого взаимодействия корнеголовых ракообразных с нервной системой хозяев.

Для изучения строения участков интерны паразита внутри ганглия и около него были использованы методы гистологического окрашивания и трехмерной реконструкции серий срезов. В дальнейшем планируется углубленное изучение структуры столонов при помощи ТЕМ микроскопии, однако пока основной акцент был сделан на гистологические методики.

Так же, как и в случае с *Peltogaster paguri* и *Peltogasterella gracilis*, были обнаружены столоны, ассоциированные с ганглиями брюшной нервной цепочки хозяина. На данный момент установлено обширное проникновение столонов под оболочку ганглия, однако характерные для данной группы «бокаловидные органы» встречаются крайне редко и имеют несколько другую локализацию в теле ганглия.

## Integration of parasitic crustaceans into the host nervous system using an example *Lernaeodiscus* sp.

### (Cirripedia: Rhizocephala)

Lapshin N.<sup>1\*</sup>, Arbuzova N.<sup>1</sup>, Ilyutkin S.<sup>1</sup>, Lianguzova A.<sup>1</sup>, Miroliubov A.<sup>1,2</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 particular investigation was to describe the morphology of rootlets of *Lernaeodiscus* sp. associated with the ganglia of the host's ventral nerve cord. We have found that the tips of some of these rootlets were modified into goblet-shaped organs which looked similar to ones found previously in the fam. Peltogastridae. However, there were some differences in localization and tissue organization of these organs.

## Функциональная дифференциация интерны корнеголовых ракообразных на примере представителей семейств *Peltogastridae* и *Peltogasterellidae* (Rhizocephala, Cirripedia)

Илюткин С. А.<sup>1\*</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Арбузова Н. А.<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: stanislav.gao@gmail.com

Среди всего разнообразия ракообразных особое место занимают корнеголовые раки (Cirripedia: Rhizocephala). Это необычная группа паразитов с широким кругом хозяев среди других ракообразных, в частности, десятиногих. Паразитические корнеголовые играют важную роль в водных экосистемах. Они оказывают сильное влияние на популяции видов-хозяев, среди которых встречаются промысловые виды. Строение тела корнеголовых существенно отличается от характерного для ракообразных плана строения: у них отсутствует сегментация тела, нет специализированной пищеварительной или дыхательной системы. Тело половозрелой самки представлено двумя функциональными отделами: интерной — сетью ветвящихся столонов, расположенных в полости тела хозяина, и экстерной — мешкообразной структурой, которая расположена снаружи тела хозяина и содержит развивающиеся зародыши, половую систему. Самцы корнеголовых редуцированы до сперматогенной ткани, которая инкорпорирована в специальные рецептакулы, расположенные в экстерне.

Общая схема строения интерны ризоцефал различается в зависимости от принадлежности к определенному виду или семейству. Интерна представителей семейства *Peltogastridae* имеет наиболее сложную организацию среди корнеголовых. Наибольшего развития она достигает в абдомене хозяина, где представлена продольным главным столоном и большим количеством периферических ветвей, которые отходят от него. От середины главного столона отходит стебелек, связывающий интерну и экстерну. В торакальном отделе хозяина интерна нерегулярно ветвится, а часть столонов внедряется в нервную систему хозяина.

В литературе, посвященной корнеголовым, на текущий момент нет детального описания строения интерны со сравнительным анализом ультраструктурной организации различных ее отделов и участков. В некоторых работах исследователи выделяют столоны трофические и «репродуктивные», но, к сожалению, эти наблюдения не сопровождается каким-либо подробным описанием строения и ультраструктурной организации разных типов столонов. Цель нашего исследования — изучение ультраструктурной организации различных участков интерны представителей вида *Peltogaster reticulata*.

В результате проведенного исследования было обнаружено, что тканевая организация и ультраструктура интерны варьирует в широких пределах в зависимости от места локализации исследуемого участка. На полученных электронограммах обнаруживаются отличия в строении главного и периферических столонов, которые проявляются в разной толщине кутикулы, в наличии или отсутствии мышечной системы, наличии специализированных структур в гиподермальных клетках.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_а №18-34-00727.*

## Functional differentiation of interna of rhizocephalan barnacles (Rhizocephala, Cirripedia)

Ilyutkin S.<sup>1\*</sup>, Lianguzova A.<sup>1</sup>, Lapshin N.<sup>1</sup>, Arbusova 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: stanislav.gao@gmail.com

In this particular study we found out that various regions in interna of rhizocephalan barnacle *Peltogaster reticulata* differ from each other by tissue organization and ultrastructure. Main differences between main and peripheral trunks are severity of the central canal, arrangement of the muscular system elements and thickness of the cuticle layer.

## Мышечная система интерны *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Арбузова Н. А.<sup>1\*</sup>, Илюткин С. А.<sup>1</sup>, Лапшин Н. Е.<sup>1</sup>, Лянгузова А. Д.<sup>1</sup>, Миролюбов А. А.<sup>1,2</sup>

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

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

\* e-mail: arbuovanata0211@gmail.com

Rhizocephala — уникальная группа крайне специализированных паразитических ракообразных, дефинитивные стадии которых утратили какие-либо черты сходства с представителями свободноживущих родственных групп. Изучение этой группы представляет значительный интерес для понимания структуры морских экосистем: влияние корнеголовых раков на хозяев, в частности изменение поведения и паразитическая кастрация, определяет структуру и динамику популяций хозяев — декапод.

Тело взрослой самки разделяется на два функциональных отдела: мешковидную экстерну с репродуктивной системой и интерну — систему ветвящихся столонов, пронизывающих тело хозяина и выполняющих трофическую функцию. Самцы демонстрируют крайнюю степень редукции и представлены сперматогенной тканью, находящейся в экстерне самки. Ризоцефалы интересны и своим жизненным циклом, в ходе которого ведущий паразитический образ жизни взрослый организм не наследует каких-либо провизорных органов. Потому наибольший интерес вызывает организация таких сложных, сформированных *de novo* структур, как мышечная система.

К настоящему моменту была описана мышечная система всего нескольких видов корнеголовых раков. Мы поставили цель визуализировать и описать мышечную систему *Peltogasterella gracilis* (сем. Peltogasterellidae). В результате исследования было обнаружено, что ее строение отличается не только от описанного у *Polyascus polygenea* и *Sacculina pilosella* (сем. Sacculinidae), но и от такового у *Peltogaster paguri* (сем. Peltogastridae). В тех столонах *Peltogasterella gracilis*, где мышечная система была обнаружена, она представляет собой систему ветвящихся мышечных пучков, расположенных в стенке столон. Часть мышц идет параллельно плоскости стенки столон в разных направлениях, другая часть перпендикулярно им, уходя вглубь столон. При этом не образуется ни четко обозначенной спирали из сети волокон, характерной для *Peltogaster paguri*, ни звездчатых образований, характерных для представителей семейства Sacculinidae.

Были также отмечены некоторые особенности, связанные с организацией мышечной системы интерны рядом с местом прикрепления экстерны. От общей части интерны идет неветвящийся столон, несущий экстерну, а после места прикрепления экстерны он переходит в столон с множеством боковых выростов (так называемый главный столон). В неветвящемся столоне всегда обнаруживалась развитая мышечная система, рядом с местом прикрепления экстерны мышц не обнаружено вовсе, а в главном столоне мышцы обнаруживались только в некоторых случаях, что возможно связано с возрастом и степенью развития экстерны. При наличии развитой мышечной системы в главном столоне, мышечные волокна довольно далеко заходят в боковые выросты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ а № 20-04-00097.

## Muscular system in interna of *Peltogasterella gracilis* (Cirripedia: Rhizocephala)

Arbuзова N. A.<sup>1\*</sup>, Ilyutkin S. A.<sup>1</sup>, Lapshin N. E.<sup>1</sup>, Lianguzova A. D.<sup>1</sup>, Mirolyubov A. A.<sup>1,2</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: arbuovanata0211@gmail.com

The aim of our study was to visualize and describe muscular system in interna of parasitic crustacean *Peltogasterella gracilis* (Rhizocephala: Peltogasterellidae). The muscular system consists of ramifying muscular fibers located in the body wall of rootlets. However, the organization of these fibers was heterogeneous along the rootlets.

## «Наружу изнутри»: что нам может рассказать первый транскриптом *Rhizocephala*?

Нестеренко М. А.<sup>1\*</sup>, Миролюбов А. А.<sup>2</sup>, Борисенко И. Е.<sup>3</sup>

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

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

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

\* e-mail: maxnest.research@gmail.com

Корнеголовые раки, *Rhizocephala*, представляют собой уникальную и высокоспециализированную группу паразитических ракообразных. Строение этих паразитов (тело, разделенное на две части: интерну, находящуюся внутри хозяина, и экстерну, располагающуюся во внешней среде), особенности их физиологии, жизненных циклов и способов взаимодействия с хозяевами привлекают внимание специалистов из разных областей и требуют комплексных междисциплинарных исследований. Ключом к пониманию молекулярных основ разных аспектов биологии корнеголовых раков может стать исследование их транскриптомов — множества РНК, присутствующих в организме в конкретный момент времени и при определенных условиях.

Основными целями нашей работы стали: (1) определение молекулярных сходств и различий между разными участками тела паразита и (2) описание множества секреторных/эксреторных последовательностей, выделяемых *Peltogaster reticulata* (*Rhizocephala*: *Peltogastridae*). Данная работа является логичным продолжением предыдущих морфологических исследований, показавших структурную гетерогенность тела корнеголовых ракообразных, и необходимым шагом в установлении молекулярных агентов, обеспечивающих существование системы паразит-хозяин.

Восстановление полноразмерных транскриптов исследуемого вида из коротких фрагментов, полученных в ходе секвенирования, производили *de novo* с одновременным использованием всех библиотек прочтений экстерны и разных участков интерны (фрагменты основного столона, растущей его части и торакального участка). Собранные транскрипты были объединены в кластеры с учетом сходства их уровней экспрессии и нуклеотидных последовательностей. Выбранная стратегия позволила получить «справочный» транскриптом (120160 последовательностей), характеризующийся высокими показателями качества и полноты ассемблирования: полностью собрано 92,6 % последовательностей из базы данных однокопийных ортологов Metazoa и приблизительно 97% всех транскриптов обладают «хорошим» качеством ассемблирования.

Согласно результатам проведенного анализа, чуть более 20% последовательностей демонстрируют значимые ( $p < 0,05$ ) различия в экспрессии между образцами. В сравнении с другими образцами, для экстерны характерна более высокая экспрессия последовательностей, вовлеченных в контроль клеточного цикла и деления, разделения хромосом, тогда как для разных участков интерны, в отличие от экстерны, характерна повышенная активность транспортных процессов и процессов, связанных с производством и преобразованием энергии.

Среди множества белков были также определены потенциальные «классические» (2543) и «неклассические» (1482) секреторные/эксреторные последовательности, многие из которых не имеют аналогов в протеомах других ракообразных. Мы предполагаем, что некоторые из них обеспечивают взаимоотношения паразита с хозяином.

Полученные результаты сравнительного анализа транскриптомов не только согласуются с представлениями о биологии исследуемого вида корнеголовых ракообразных. Они будут служить основой дальнейших исследований взаимодействия паразита и хозяина.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00727.*

## “Inside out”: what can the first *Rhizocephala* transcriptome tell us?

Nesterenko M. A.<sup>1\*</sup>, Miroliubov A. A.<sup>2</sup>, Borisenko I. E.<sup>3</sup>

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

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

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

\* e-mail: maxnest.research@gmail.com

*Rhizocephala* is a group of unique and highly specialized parasitic crustaceans. The first comparative transcriptomic analysis of *Peltogaster reticulata* (*Rhizocephala*: *Peltogastridae*) externa and various parts of interna allowed to determine and describe species-specific molecular phenotypes and secretome/excretome.

## ***Metchnikovella spiralis* Sokolova et al. 2014 (Opisthokonta: Microsporidia):**

### **прижизненные наблюдения и первые данные молекулярной филогении**

Фролова Е. В.<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: luna878@yandex.com

Мечниковеллиды — особая, древняя группа микроспоридий. Это гиперпаразиты грегариин, обитающих в кишечнике морских беспозвоночных, преимущественно морских полихет. От канонических микроспоридий их отличает модифицированный аппарат экстрезии, в котором отсутствуют поляропласт, задняя вакуоль, а полярная трубка представлена прямым коротким и широким манубриумом. Жизненный цикл включает в себя два типа спорогонии, приводящие к образованию спор либо свободных, либо заключенных в толстостенные «споровые мешки» (цисты). Форма цист и таксономическая принадлежность хозяев считаются видоспецифичными признаками мечниковеллид. На филогенетическом дереве микроспоридий мечниковеллиды занимают базальное положение. На данный момент описано около 30 видов мечниковеллид, лишь для нескольких видов описано тонкое строение и получены молекулярные данные.

В данной работе представлены результаты прижизненных наблюдений с помощью световой микроскопии и первые данные молекулярно-филогенетического анализа мечниковеллиды *Metchnikovella spiralis*.

*M. spiralis* паразитирует в грегариинах *Polyrhabdina* sp. из кишечника полихет *Pygospio elegans*, обитающих на илисто-песчаной литорали Белого моря. Впервые гиперпаразит был изолирован в 2010 г., а позже в 2014 г. было опубликовано описание вида, в основном, по результатам анализа окрашенных препаратов и трансмиссионной электронной микроскопии, тогда как сведения о прижизненных наблюдениях были неполными, а данные молекулярной филогении отсутствовали вовсе. Лишь в августе 2019 года мы снова обнаружили (в двух из 86 полихет) полирабдин, зараженных *M. spiralis*. Овальные цисты размерами 14,5 × 6 мкм (n = 48) и одной полярной пробкой лежали по одной в обширных паразитофорных вакуолях в цитоплазме грегариин. Снаружи цист, свежееизолированных из цитоплазмы грегариин, можно было рассмотреть «шнур» (cord), по спирали опоясывающий цисту. В каждой цисте располагались 8 спор эллипсоидной формы и размерами 3 × 2,5 мкм (n = 30). Также мы наблюдали ранние стадии развития и свободные споры данного вида. Ранние стадии выглядели как оптически светлые пространства цитоплазмы грегарины, ограниченные мембраной и лишённые видимых включений. Свободные споры лежали в паразитофорных вакуолях, в свою очередь образующих своеобразные кластеры в цитоплазме грегариин. Свободные споры имели немного более вытянутую форму при размерах 3 × 2 мкм (n = 30).

Филогенетические реконструкции, основанные на анализе последовательностей гена малой субъединицы рРНК, показали, что *M. spiralis* не формирует монофилетическую кладу с *M. incurvata*, таким образом, подкрепляя ранее возникавшие подозрения о полифилии рода *Metchnikovella*, самого многочисленного и разнообразного среди мечниковеллид.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-04-01359.

## ***Metchnikovella spiralis* Sokolova et al. 2014 (Opisthokonta: Microsporidia):**

### **light-microscopic observations and first molecular-phylogenetic data.**

Frolova E.<sup>1,2\*</sup>, Paskerova G.<sup>1</sup>, Smirnov A.<sup>1</sup>, Nasonova 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: luna878@yandex.com

*Metchnikovella spiralis* is a hyperparasitic microsporidium parasitising the gregarine *Polyrhabdina* sp. from the gut of the polychaete *Pygospio elegans*. We provided light-microscopic vital observations of the life cycle different stages and first SSU rRNA phylogenetic data, lacking in the original description of the species.

## Сравнительный анализ нервной системы Orthonectida

Rappoport A. V. \*, Slyusarev Yu. S.

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

\* e-mail: septiger@yandex.ru

Ортонектиды — группа паразитов, использующая широкий круг беспозвоночных хозяев. Для ортонектид характерен однохозяйный жизненный цикл, включающий стадию плазмодия, паразитирующего в хозяине, а также свободноживущих самцов и самок. После копуляции образуются личинки, которые покидают материнский организм и заражают нового хозяина. Среди свободноживущих самцов и самок наблюдается значительное варьирование строения нервной и мышечной систем.

Целью данного исследования было изучение и анализ строения нервных систем ортонектид видов: *Intoshia variabilis*, *Intoshia linei*, *Rhopalura litoralis*.

Материал для данного исследования собирали на Белом море (в районе Учебно-научной базы СПбГУ «Беломорская») и на Баренцевом море (окрестности поселка Дальние Зеленцы (69°07' с. ш. и 36°05' в. д.). *I. variabilis*, паразитирующих в турбелляриях *Graffiellus croceus*, собирали на Белом море. *I. linei*, паразитирующих в немуртинах *Lineus ruber*, а также *R. litoralis*, паразитирующих в гастроподах *Onoba aculeus*, собирали на Баренцевом море. После выхода самок из хозяев ортонектид фиксировали 4 % параформальдегидом (PFA). После этого проводилась окраска на серотонин и FMRF-амид по стандартному протоколу для установления строения нервной системы самок исследуемых видов. Ядра окрашивались DAPI. После образцы заключались в Mowiol и просматривались на конфокальном микроскопе Leica TCS SPE. Полученные данные анализировались в программе FiJi и послужили основой для создания 3D модели строения нервных систем.

Нервная система самки *I. variabilis* состоит из 3–4 серотонинергических клеток. Клеток, содержащих FMRF-амид, у этого вида по нашим данным нет. У *I. linei* выявлено 6–8 серотонинергических клеток, и 4–6 клеток, содержащих FMRF-амид. Нервная система *R. litoralis* состоит из 26 серотонинергических клеток и 8 клеток, содержащих FMRF-амид. Следует отметить, что при окраске на серотонин нами выявлен еще ряд клеток, выполняющих рецепторную функцию.

По нашим данным наблюдается значительное уменьшение числа нервных клеток, содержащих серотонин и FMRF-амид, в ряду самок *R. litoralis*, *I. linei*, *I. variabilis*. При этом нами не были обнаружены клетки с FMRF-амидной активностью у самок *I. variabilis*. Вероятнее всего, это скореллировано с размером самок данных видов (*I. variabilis* длина 75–85 мкм, ширина 15–20 мкм; *I. linei* длина 150–165 мкм, ширина 31–33 мкм; *R. litoralis* длина 185–190 мкм, ширина 60–65 мкм).

Работа выполнена на Учебно-научной базе СПбГУ «Беломорская» при поддержке гранта РФФИ № 19-04-00218 с использованием оборудования Ресурсного центра Микроскопии и Микроанализа СПбГУ.

## Comparative analysis of the Orthonectida nervous system

Rappoport A. V. \*, Slyusarev G. S.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: septiger@yandex.ru

Sexual individuals of orthonectids are characterized by variability of nervous systems. The aim of this study was to analyze nervous systems of: *Intoshia variabilis*, *Intoshia linei* and *Rhopalura litoralis*. We found that the number of serotonin and FMRFamide cells in *I. variabilis* — 3–4 and 0; *I. linei* — 6–8 and 4–6; *R. litoralis* — 26 and 8.

## **Ультраструктура экскреторной системы *Cercaria parvicaudata* (Digenea, Rencolidae)**

*Денисова С. А. \*, Щенков С. В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург  
\* e-mail: dersteppenwolf1608@gmail.com

Изучено тонкое строение выделительной системы личинки *Cercaria parvicaudata* Stunkard, Shaw, 1931 (Microphalloidea, Rencolidae). Материалом для исследования послужили зрелые церкарии из зараженных партенитами моллюсков *Littorina littorea*, собранных в окрестностях о. Средний (губа Чупа, Белое море). Стенка мочевого пузыря представлена тонкой синцитиальной пластинкой и крупными активными цитонами. Своеобразный тип секреции в просвет мочевого пузыря обнаружен на некоторых срезах. Плазмалемма синцитиальной пластинки формирует множество тонких выростов, направленных в просвет мочевого пузыря. Ядра цитонов активные, с крупным ядрышком, цитоплазма содержит большое количество шЭПР, свободных рибосом и электронно-плотных митохондрий атипичной формы. Сходное состояние цитоплазмы характерно и для клеток выделительных каналов, в которых, кроме того, локализовано большое количество крупных липидных капель. Каналы сформированы с помощью септированных десмосом. Клетки каналов способны формировать тонкие отростки, которые тесно прилегают к наружной стороне каналов. Реснички циртоцитов имеют аксонему 9 + 2, в ней хорошо различимы динеиновые ручки, радиальные спицы и нексиновые мостики. На поперечном срезе реснички циртоцитов имеют гексагональную форму и тесно прилегают друг к другу.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-34-00632. Результаты получены при использовании оборудования ресурсного центра СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» по проекту № 109-11435. Сбор и первичная обработка материала для исследования были проведены на УНБ «Беломорская».*

## **Fine structure of the excretory system of *Cercaria parvicaudata* (Digenea, Rencolidae)**

*Denisova S. A. \*, Shchenkov S. V.*

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg  
\* e-mail: dersteppenwolf1608@gmail.com

We present a description of the excretory system of *Cercaria parvicaudata*. The fine structure of excretory tubes, bladder and flame cells was studied. The specific type of secretion of bladder was detected in rencolid cercaria for the first time.

## Ультраструктура синаптических контактов в нервной системе *Cercaria parvicaudata*

(Digenea, Rencolidae)

Денисова С. А. \*, Щенков С. В., Кремнев Г. А.

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

\* e-mail: dersteppenwolf1608@gmail.com

В рамках исследования нервной системы стилетных церкарий трематод изучено тонкое строение центральной и периферической нервной системы *Cercaria parvicaudata* (Stunkard & Shaw, 1931) (Microphalloidea, Rencolidae). Материалом для исследования послужили зрелые церкарии из зараженных моллюсков *Littorina littorea*, собранных в окрестностях о. Средний (губа Чупа, Белое море). Многочисленные синаптические контакты обнаружены в нейропиле церебрального ганглия и в нервных стволах. Синапсы соответствуют поляризованным химическим контактам четырех типов: нервно-мышечные, аксо-аксональные, аксо-соматические и множественные синапсы. В районе пресинаптических мембран сконцентрировано большое количество маленьких прозрачных холинэргических везикул. Небольшое количество электронно-плотных пептидэргических везикул среднего размера найдено в районе пре- и постсинаптических мембран. Крупные плотные аминэргические везикулы локализованы в отдельных нервных отростках нейропиля и нервных стволов. Они не встречаются совместно с пептидэргическими везикулами и отсутствуют в районе обнаруженных синапсов. Пресинаптическая мембрана некоторых контактов формирует пузырьковидные впячивания, подобные опущенным везикулам, образующимся в процессе компенсаторного эндоцитоза. Такие везикулы, кроме того, могут являться результатом несинаптической или паракриновой секреции, которая была неоднократно описана у разных представителей плоских червей. Химические синапсы *C. parvicaudata* характеризуются хорошо выраженными синаптической щелью, пре- и постсинаптическими уплотнениями. В целом, химические синапсы в нервной системе *C. parvicaudata* сходны с таковыми в нервных системах других паразитических плоских червей и высших трубеллярий. Множественные поляризованные синапсы с высокой плотностью пресинаптических участков наиболее многочисленны в нейропиле ганглия и в нервных стволах *C. parvicaudata*, что является признаком высокой специализации нервной системы этой церкарии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-34-00632. Результаты получены при использовании оборудования ресурсного центра СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» по проекту № 109-11435. Сбор и первичная обработка материала для исследования были проведены на УНБ «Беломорская».

## Ultrastructural observations of synaptic connections within the nervous system of *Cercaria parvicaudata* (Digenea, Rencolidae)

Denisova S. A. \*, Shchenkov S. V., Kremnev G. A.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: dersteppenwolf1608@gmail.com

We present a description of synaptic connections in central and peripheral nervous system of *Cercaria parvicaudata*. Four types of polarized chemical synapses were observed within neuropile of cerebral ganglion and nerve cords.



## Строение цистофорных церкарий *Cercaria saccocaudata* (Digenea: Hemiuroidea)

Скобкина О. А. \*, Крупенко Д. Ю.

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

\* e-mail: compognathus13@gmail.com

Для трематод надсем. Hemiuroidea в основном характерны три- или тетраксенные жизненные циклы. В первом промежуточном хозяине — моллюске — развиваются партениты и церкарии. В ходе развития эмбрионы церкарий сначала имеют округлую форму, а потом разделяются перетяжкой на две части: одна часть станет телом церкарии, а другая — полый хвостовой капсулой с придатками (извергательная трубка и хвостовой отросток). После того, как церкария попадает в воду, ее тело втягивается в полость хвостовой капсулы, отверстие закрывается сфинктером. Это позволяет церкарии длительное время находиться во внешней среде, что увеличивает вероятность заразить второго промежуточного хозяина — планктонного рачка. Заражение происходит пассивно: рачок съедает церкарию, извергательная трубка выворачивается, и тело церкарии проходит через трубку в гемоцель рачка. Там развивается метацеркария без защитной оболочки. После этого копеподу должна съесть рыба, в которой метацеркария развивается в мариту. В рыбах Белого моря находили марит семи видов трематод из надсем. Hemiuroidea: *Brachyphallus crenatus*, *Hemiurus levinseni*, *Lecithaster gibbosus*, *L. confusus*, *Derogenes varicus*, *D. crassus* и *Progonus mulleri*. В моллюсках *Cryptonatica affinis* на Белом море Г. К. Чубрик находила цистофорных церкарий двух видов: *Cercaria appendiculata* и *C. saccocaudata*. Последняя очень похожа на личинок рода *Lecithaster*, ранее описанных с восточного побережья Северной Америки и из Северного моря. Жизненные циклы *L. confusus* и *L. gibbosus* похожи: первый промежуточный хозяин — заднежаберные моллюски р. *Odostomia*, метацеркарий находили в разных видах копепод, мариты развиваются в желудке рыб.

Задачей данного исследования было уточнить видовую принадлежность церкарий и спороцист *Cercaria saccocaudata* из беломорских гастропод *Cryptonatica affinis*. Для этого мы сравнивали их с описанными ранее церкариями *Lecithaster confusus* или *L. gibbosus*. Второй нашей задачей было изучение морфологии данных церкарий с помощью современных морфологических методов. Материал был собран в окрестностях УНБ «Беломорская» СПбГУ. Из 129 особей *Cryptonatica affinis*, собранных за полевой сезон 2019 г., десять были заражены спороцистами *Cercaria saccocaudata*. Спороцист и церкарий фиксировали 96° спиртом, 2,5 % глутаральдегидом и 4 % параформалином. Были получены снимки фиксированных церкарий на разных этапах развития, по ним проведена морфометрия, описано строение хвостовой капсулы, извергательной трубки, сократимого отростка. По снимкам с конфокального микроскопа мы рассмотрели расположение мышц в теле церкарии, мышц сфинктера и хвостовой капсулы.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 19-74-10029 и с использованием оборудования Ресурсного Центра микроскопии и микроанализа СПбГУ.

## Structure of cystophorous cercariae of *Cercaria saccocaudata* (Digenea: Hemiuroidea)

Scobkina O. A. \*, Krupenko D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: compognathus13@gmail.com

Cystophorous cercariae are digenean larvae of the superfamily Hemiuroidea. Their tail consists of a hollow tail capsule, caudal process and delivery tube. Structure of cystophorous *Cercaria saccocaudata* (presumably larvae of the genus *Lecithaster*) is described by means of differential interference contrast microscopy and confocal microscopy with fluorescent staining.

## Distribution of the threespine stickleback parasite *Cryptocotyle* spp. (Digenea) in the coastal waters of the White Sea

Golovin P. V.<sup>1\*</sup>, Ivanov M. V.<sup>1</sup>, Ivanova T. S.<sup>1</sup>, Rybkina E. V.<sup>2</sup>, Lajus D. L.<sup>1</sup>

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

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

\* e-mail: pasha-golovin@yandex.ru

Long-term dynamics of fish population depend on a number of biotic and abiotic factors. Among the biotic factors are intraspecific interactions, primarily predator-prey relationships, and parasite infection. In this study, we focus on distribution of parasitic flatworm *Cryptocotyle* spp. metacercariae (Digenea), regularly found in the marine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in the White Sea. Stickleback is the most numerous fish in the White Sea and dynamics of its population affects the entire ecosystem.

Adult sticklebacks were sampled during spawning period in 2016 and 2018 at three spawning grounds differing in hydrological characteristics (open Seldyanaya inlet, isolated Koliushkovaya lagoon and Sukhaia Salma strait) in the vicinity of Educational and Research Station “Belomorskaia” of Saint Petersburg University. Quantitative analysis was based on visual counts of metacercarial cysts located on spread caudal fins using scanned stickleback images. In total, 1840 fishes were analyzed. No differences in infection were found between 2016 and 2018 and between sexes. Mean abundance of metacercariae varied from  $0.03 \pm 0.033$  (beginning of spawning period in strait, 2016) to  $8.67 \pm 0.666$  (end of spawning period in lagoon, 2016). At the beginning of spawning period infection was similar in different locations. During the spawning period stable levels of infection persisted in the strait and inlet, but several-fold increase was registered towards the end of the spawning season in the lagoon.

The observed patterns of infection may result from considerable isolation of the lagoon together with high abundance of gastropod *Peringia ulvae*, which is the first intermediate host of *Cryptocotyle concava*.

To sum up, the registered similarity of infection in the beginning of spawning season results from intermixing of stickleback in wintering locations in offshore waters. Sticklebacks spend spawning period at different spawning grounds, and thus they are affected by local specific conditions. Observed patterns of parasite infection help to better understand dependence of threespine stickleback fitness on local environment.

*The research described here has been supported by grant of Russian Foundation for Basic Research 18-34-00914 mol\_a.*

## Связь между индивидуальной пищевой активностью мелких брюхоногих моллюсков

### *Peringia ulvae* на литорали Белого моря и их зараженностью трематодами

Зенков Е. А.\*

Лаборатория экологии морского бентоса (гидробиологии), Санкт-Петербург

\* e-mail: julzenkov@gmail.com

*Peringia ulvae* — массовый литоральный моллюск, на литорали Белого моря он служит первым промежуточным хозяином для многих видов трематод. Известно, что паразиты могут оказывать влияние на физиологические процессы, протекающие в моллюсках. Один из показателей изменений в физиологии моллюска — его пищевая активность. Ее можно интегрально оценить, подсчитывая экскременты моллюска — пеллеты. Целью данного исследования стала проверка зависимости скорости пеллетообразования моллюска от заражения каким-либо из видов трематод. Для оценки пищевой активности *Peringia ulvae* была проведена серия экспериментов. Сбор брюхоногих производили на литорали о. Ряжков и Девичьей луды (66°59' N, 32°36' E). Перингий с высотой завитка более 2 мм помещали в отдельные садки, по одной улитке в каждый, на срок от 2,5 до 3 часов, причем во всех контейнерах моллюск был изолирован от дна контейнера сеткой с диаметром ячеек 0,5 мм. По окончании срока экспозиции, перингий вынимали из контейнера, а число выделенных ими пеллет подсчитывали. Мы определяли размер и пол перингий, наличие ооцитов у самок, а также вид трематод у зараженных особей. Оценку достоверности влияния факторов проводили с помощью генерализованных линейных моделей.

19,6±0,04 % особей были заражены одним из следующих таксонов трематод: *Cryptocotyle concava*, *Microphallidae* gen. sp. и *Notocotylidae* gen. sp., причем экстенсивность инвазии моллюсков представителями семейства *Microphallidae* была наиболее высокой в сравнении с остальными (10,4 ± 0,03 %). Анализ модели показал, что наличие заражения (независимо от таксона трематод) уменьшает количество выделенных пеллет, вопреки литературным данным (Mouritsen, 1994). Количество пеллет также уменьшается с увеличением размера *P. ulvae*, причем данная тенденция прослеживается как для зараженных, так и для незараженных особей. Влияние на скорость выделения пеллет пола и наличия ооцитов у самок обнаружено не было.

### The link between egestion rate in mudsnail *Peringia ulvae* and trematode infection at the White Sea intertidal

Zenkov E. A.\*

Laboratory of marine benthic ecology and hydrobiology, Saint Petersburg

\* e-mail: julzenkov@gmail.com

We show that egestion rate of *Peringia ulvae* from the White Sea sandflats infected by trematode intramolluscan stages was significantly lower than that of uninfected ones. Size of the mudsnails is significantly linked with egestion rate too, contrary to the sex of snails and the presence of oocytes in females.

## Жизненный цикл *Fellodistomum agnotum* (Digenea: Fellodistomidae)

Урядова А. А.<sup>1\*</sup>, Крупенко Д. Ю.<sup>1</sup>, Гончар А. Г.<sup>1,2</sup>, Кремнев Г. А.<sup>1</sup>, Крапивин В. А.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Центр паразитологии, Москва

\* e-mail: sashaur@gmail.com

Трематоды — это паразиты, характеризующиеся наличием сложного жизненного цикла со сменой хозяев и чередованием гермафродитного и партеногенетических поколений. Реконструкция жизненных циклов остается одной из самых актуальных проблем для исследователей трематод. При этом соотнесение различных фаз цикла только по морфологическим характеристикам часто бывает ошибочным. Для решения данной проблемы используют молекулярно-генетические методы, с помощью которых можно идентифицировать вид трематоды на различных фазах жизненного цикла.

Мариты трематод семейства *Fellodistomidae* являются паразитами пищеварительной системы морских рыб. Для Палеарктики известно три вида трематод р. *Fellodistomum*, при этом в Белом море находили только один из них — *Fellodistomum fellis* (Olsson, 1868), жизненный цикл которого описала Г. К. Чубрик (1952). В морях Северо-Восточной Атлантики вместе с *F. fellis* часто описывали и другой вид — *Fellodistomum agnotum* Nicoll, 1909. Оба вида паразитируют в зубатках (р. *Anarhichas*): *F. fellis* обнаружен в желчном пузыре, а *F. agnotum* — в его протоке. Николь (Nicoll, 1909) различал эти два вида по следующим признакам: во-первых, тело *F. agnotum* более вытянуто в длину, а его задний конец заострен, чего нельзя наблюдать у *F. fellis*. Во-вторых, мариты *F. agnotum* в среднем меньше, чем у *F. fellis*. Исследователи пишут и о различиях в расположении органов половой системы: семенники *F. fellis* расположены близко к заднему концу тела, а у *F. agnotum* они находятся на значительном расстоянии от него. Матка *F. agnotum* тянется до заднего конца тела, а у *F. fellis* она расположена на уровне брюшной присоски и чуть позади нее.

В ходе исследования фауны трематод Белого моря нами были найдены церкарии сем. *Fellodistomidae* в двустворчатом моллюске *Ennucula tenuis* в районе Соловецких островов. По последовательности гена 28S рРНК их видовая принадлежность была определена — это оказался *F. agnotum*. Кроме этого, в брюхоногих моллюсках *Buccinum undatum*, собранных в районе УНБ «Беломорская» СПбГУ и Соловецких островов, обнаружены метацеркарии р. *Fellodistomum*. Молекулярный и морфологический анализ показал, что они относятся к видам *F. fellis* и *F. agnotum*. Поэтому можно утверждать, что *Fellodistomum agnotum* обладает триксенным жизненным циклом: мариты паразитируют в протоке желчного пузыря зубаток (р. *Anarhichas*), первым промежуточным хозяином является *Ennucula tenuis*, а вторым промежуточным — *Buccinum undatum*.

Работа выполнена с использованием оборудования Ресурсного Центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ и при поддержке гранта РФФИ № 19-74-10029.

## Life cycle of *Fellodistomum agnotum* (Digenea: Fellodistomidae)

Uryadova A. A.<sup>1\*</sup>, Krupenko D. Y.<sup>1</sup>, Gonchar A. G.<sup>1,2</sup>, Kremnev G. A.<sup>1</sup>, Krapivin V. A.<sup>1,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, The Center of Parasitology, Moscow

\* e-mail: sashaur@gmail.com

In this study we reconstructed life cycle of digenean *Fellodistomum agnotum* Nicoll, 1909 (fam. Fellodistomidae) by analysis of 28S rRNA gene sequences. It involves three hosts: sexual adults inhabit gall bladder duct of wolffish (gen. *Anarhichas*), first intermediate hosts are bivalves *Ennucula tenuis*, and second intermediate hosts are common whelks *Buccinum undatum*.

## **ДНК-баркодинг гемипопуляций личинок скребней сем. Polymorphidae литорали Баренцева и Белого моря**

*Дюмина А. В.\**

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

Скребни (*Acanthocephala*) — это паразитические организмы со сравнительно низкой специфичностью по отношению к окончательным хозяевам. Это делает их достаточно удобной моделью для исследования процессов видообразования путем гостальной радиации. Однако бедность данной группы простыми в идентификации морфологическими признаками крайне затрудняет такой анализ. Эту проблему позволяют решить методы ДНК-баркодинга и геометрической морфометрии.

Взрослые скребни сем. *Polymorphidae* — паразиты водных птиц и млекопитающих. В качестве промежуточных хозяев они используют десятиногих раков, причем зараженность носит очаговый характер. Локальные поселения промежуточных хозяев способны в течение многих лет аккумулировать инвазионное начало. Окончательные хозяева могут заразиться от них в любое время года. При этом после попадания в окончательного хозяина личинки — цистаканты — развиваются достаточно быстро, и взрослые особи элиминируются затем в течение примерно одного года. Ракообразные могут быть заражены зрелыми яйцами, которые разовьются в инвазионных цистакантов, только при относительно высоких температурах, то есть в период летнего гнездования окончательных хозяев. Таким образом, весь жизненный цикл полиморфид может протекать за один сезон гнездования, после чего инвазионное начало аккумулируется в виде покоящихся яиц и зрелых цистакантов до следующего прилета окончательных хозяев. При этом, если взрослые особи сохраняют жизнеспособность в течение миграции хозяев, зрелые яйца могут попадать в места их зимовок, и сохраняться там до более теплых месяцев.

Итак, протекает ли весь жизненный цикл исследуемых полиморфид в границах локальных поселений промежуточных хозяев, или существует обмен между очагами на местах летнего гнездования и зимовок? На эти вопросы в рамках данного исследования ответы были получены с использованием последовательностей гена цитохром-оксидазы 1. Материал был собран на литорали г. Ярнышной и г. Дальнезеленецкой Баренцева моря (НИС ММБИ КНЦ РАН «Дальние Зеленцы») и в вершине Кандалакшского залива Белого моря в пос. Лувеньга.

## **DNA-barcoding in the hemipopulations of polymorphid larvae (*Acanthocephala: Polymorphidae*) from littoral of the White and Barents Seas**

*Diumina A. V.\**

Zoological Institute RAS, Laboratory of parasitic worms and protists, Saint Petersburg  
\* e-mail: d\_alexia@mail.ru

Examined species of the fam. *Polymorphidae* use decapods confined to local settlements as intermediate hosts. Definitive hosts of these parasites — seabirds — migrate on large distances. Can these species accomplish their life cycles at a local site during one nesting season? Or is there an exchange between different local parasite populations? To answer these questions the COI sequences were used. Sampling took place near Dalniye Zelentsy Research Station (Barents Sea) and in the tip of Kandalaksha Bay (White Sea).

### Мониторинг арктических грызунов: новые подходы

Стасюк И. В. \*, Левина Н. С., Миронов А. Д.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, кафедра зоологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: norroendrengr@mail.ru

Традиционные методы учета и мониторинга мелких млекопитающих (грызунов, насекомоядных etc.), применяющиеся в зоологических исследованиях, имеют ряд ограничений эффективности и информативности, они инвазивны и зачастую летальны для зверьков. Это обуславливает необходимость поиска новых подходов и разработки современных методик, в частности, с использованием цифровых технологий. Нами предложена новая методика неинвазивного учета и мониторинга активности грызунов — цифровая потоковая видеорегистрация. Предполагается, что она решит задачи минимизации вторжения наблюдателя, гуманизации, обеспечения объективности и репрезентативности материала по следующим причинам. (1) В отличие от отлова, минимизируется воздействие на популяцию, зверьки не гибнут и не изымаются из циклов воспроизводства. (2) Присутствие наблюдателя не искажает естественные формы поведения. (3) Исходный цифровой видеоматериал может храниться неограниченно долго, многократно перепроверяться и обрабатываться; он несет объективную информацию о присутствии, активности, формах поведения животных, об окружающей обстановке (погода, освещенность, активность других видов состояние растительности и др.). (4) Методика может быть использована для изучения видов, плохо поддающихся изучению традиционными методами.

Методика апробировалась в полевых исследованиях активности таких трудноуловимых видов, как лесной (*Myopus schisticolor*) и норвежский (*Lemmus lemmus*) лемминги.

Для изучения суточной активности леммингов и симпатрических видов (землеройки, полевки, мелкие куны и др.) мы стали использовать малогабаритные автономные видеорегистраторы (DVR) с возможностью круглосуточной потоковой видеозаписи. Объединяя устройства в линии и площадки, устанавливая их параллельно с ловчими цилиндрами на традиционных ловчих канавках, мы получаем новые данные о поведении животных, недоступные при традиционных методах отлова и прямом наблюдении.

В период 2014–2019 гг. авторами проведено 8 экспедиций на территории Карелии, Мурманской и Архангельской областей, в ходе которых велась апробация различных устройств и методов их применения, а также прямое сравнение традиционных методов учета (отловы давилками, живоловками, ловчими канавками) с потоковой видеорегистрацией. Проведены наблюдения суточной активности и многолетней динамики численности норвежского и лесного леммингов в тайге и горной тундре Лапландского заповедника (окрестности Чунозерской усадьбы), в приморских тундрах побережья Баренцева моря (п. Дальние Зеленцы). Получены данные о поведении зверьков у традиционных зоологических «орудий лова», сопоставлена эффективность методик.

При несомненных преимуществах видеорегистрации выявлены и недостатки предлагаемого метода: трудоемкость, относительная финансовая затратность, высокие требования к надежности и качеству применяемого оборудования, привязка к источникам электроэнергии, отсроченность получаемого результата. Ведется поиск программных решений для ускорения обработки видеоматериала.

### New approaches to the monitoring of Arctic rodents

Stasjuk I. V. \*, Levina N. S., Mironov A. D.

The Herzen State Pedagogical University of Russia, Zoology department, Saint Petersburg

\* e-mail: norroendrengr@mail.ru

Traditional field studies of rodents have serious limitations. They are lethal for animals and not sufficiently informative in solving modern problems. We suggest using DVRs instead of traditional traps. This allows you to get much more information about the activity and behavior of rodents. Moreover, the animals do not die, there is no impact on the local population, and the presence of the observer does not distort the natural forms of behavior.

## **Новые данные о суточной активности норвежского лемминга *Lemmus lemmus***

*Левина Н. С. \*, Стасюк И. В., Миронов А. Д.*

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, кафедра зоологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: nadezhda.levina.1998@gmail.com

Экология норвежского лемминга *Lemmus lemmus* (Linnaeus, 1758) в целом изучена слабо. Этому есть объективные причины: труднодоступность естественных местообитаний, спорадичность появления, сложность лабораторного содержания.

Целью нашей работы был исследование суточной активности норвежского лемминга. Задачи работы: 1) изучение суточной активности норвежского лемминга в условиях естественных местообитаний; 2) изучение ритмов и форм суточной активности леммингов в условиях манежного содержания; 3) сравнение полученных данных.

Экспериментальные работы были проведены в 2011–2014 гг. в лабораторных манежах БиНИИ и обработаны Н. С. Левиной. Полевые исследования — в экспедициях в Мурманской области (Лапландский заповедник и п. Дальние Зеленцы) 2011–2019 гг. С 2015 г. в Лапландском заповеднике мы ведем ежегодные мониторинговые наблюдения за динамикой численности мышевидных грызунов. Для решения указанных задач использовался метод круглосуточной потоковой видеорегистрации на трансектах с использованием мобильных регистраторов (на аккумуляторном питании с записью на карту памяти) и стационарной системы видеонаблюдения (с питанием от сети и записью на жесткий диск).

Появление норвежского лемминга отмечено в 2015 и 2018–2019 гг. Для норвежского лемминга характерна полифазная активность. Интенсивная двигательная активность характерна лишь в темное время суток. Суточные периоды активности в целом составляют 240–250 мин, однако бюджеты в светлое время суток и в темное существенно различаются. Обсуждаются особенности видового, индивидуального и сезонного почерка полевого поведения леммингов. Приводится сравнительный анализ поведения в экспериментальных и естественных местообитаниях. Подготовлены методические рекомендации по организации полевых исследований и лабораторного содержания норвежского лемминга.

## **New data on daily activity of Norwegian lemmings *Lemmus lemmus***

*Levina N. S. \*, Stasjuk I. V., Mironov A. D.*

The Herzen State Pedagogical University of Russia, Zoology department, Saint Petersburg

\* e-mail: nadezhda.levina.1998@gmail.com

The Norwegian lemming is characterized by polyphase activity. Daily periods of activity (up to 5) are generally 240–250 minutes, but budgets in the daytime and in the dark differ significantly. Intense motor activity is manifested only in the dark. The peculiarities of species, individual and seasonal handwriting of lemmings' field behavior are discussed. The comparative analysis of behavior in experimental and natural habitats is given.

## Water Bears! Investigation of limnoterrestrial tardigrades of Spitsbergen using integrative approach

Tsvetkova A. \*, Tumanov D.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: larsi09@yandex.ru

Tardigrada, also called water bears, is a group of microscopic segmented animals. Tardigrades are known for their ability to survive unfavorable environmental conditions in cryptobiotic state. They are widely distributed in nature, inhabiting all kinds of aquatic ecotopes, from abyssal oceanic depths to temporary microscopic pools in cushions of mosses and lichens. Recently, 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 presence of widely distributed polymorph species is substituted with the concept 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 20<sup>th</sup> 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 20<sup>th</sup> century. It was shown that even in such relatively small territory several complexes of closely related and morphologically similar species can be found. It 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). We use a combination of 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 18SSU and 28SSU genes, which could help to reconstruct the phylogeny of large Tardigrada taxa.

So far, we have found nine Tardigrada species from eight genera. A new species of the genus *Mesobiotus* closely related to *Mesobiotus harmsworthi* and *M. occultatus* (both known for Spitsbergen) is in the process of description and two species of the genus *Microhypsibius* are new records for the area. Moreover, the genus *Microhypsibius* has not been previously recorded for Spitsbergen and one of these species (*M. minimus*) was known only from type locality in West Greenland.



***Ophryodendron abietinum* (Ciliophora: Phyllopharyngea) — первая находка на Белом море  
и новые данные о сложном жизненном цикле**

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

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

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, лаборатория клеточной и молекулярной протистологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: mirrobella@mail.ru

Suctorina — необычная группа инфузорий, характеризующаяся наличием цилиатуры лишь на некоторых стадиях жизненного цикла. Один из представителей этой группы — *Ophryodendron abietinum* — летом 2018 года был найден на колониях гидроидного полипа *Obelia longissima* в Белом море (губа Чупа, окрестности острова Средний).

Первое описание этого вида датируется 1885 годом (Claparède and Lachmann, 1885). На сегодняшний день существуют лишь отдельные исследования, касающиеся только особенностей морфологии, питания и жизненного цикла данной инфузории (Martin, 1909). Ранее было установлено, что в жизненном цикле *O. abietinum* существует две стадии: «грушевидная», имеющая ловчий аппарат, и «червеобразная», у которой такая структура отсутствует. Нами же при обработке фиксированного материала была обнаружена предположительно промежуточная форма, которая обладает признаками обеих вышеперечисленных стадий: червеобразной формой клетки и в то же время зачатками ловчего аппарата.

Нами было проведено окрашивание ядерных структур по методу Фельгена. В результате было обнаружено, что число микронуклеусов (МИК) варьирует в зависимости от стадии жизненного цикла, и большая часть МИК находятся на разных этапах деления. Число МИК в некоторых клетках превышало 50, тогда как в других количество генеративных ядер было крайне низко (до 5). Предположительно, клетки с небольшим количеством МИК недавно претерпели деление. В ранних работах специфическая окраска хроматина МИК трактовалась как ДНК стрекательных капсул *O. longissima* (Martin, 1909), поглощенных инфузорией, однако эта гипотеза нами не подтвердилась. Также было установлено, что макронуклеус клеток на грушевидной стадии имеет Y-образную форму, которая на иных стадиях жизненного цикла изменяется. У клеток на червеобразной стадии отсутствуют отростки макронуклеуса, соматическое ядро вытягивается вдоль продольной оси клетки.

Проведенное исследование уточнило морфологические особенности *O. abietinum*, в частности касающиеся организации ядерного аппарата. Нами была обнаружена промежуточная стадия, что помогло составить более полную картину жизненного цикла. Классическое описание было дополнено фотографиями, сделанными с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Культивирование микроорганизмов» и центра коллективного пользования «Таксон» Зоологического института РАН.

***Ophryodendron abietinum* (Ciliophora: Phyllopharyngea) — a first finding on the White Sea  
and the new insight on the complex life cycle**

Belokon M. E.<sup>1\*</sup>, Borodin N. A.<sup>1</sup>, Khabibulina V. R.<sup>1</sup>, Melekhin M. S.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg University, Faculty of Biology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory of Cell and Molecular Protistology, Saint Petersburg

\* e-mail: mirrobella@mail.ru

*Ophryodendron abietinum*, the species belonging to Suctorina — a unique group of ciliates — has recently been found on the colonies of hydroid polyp *Obelia longissima* on the White Sea for the first time. Our research includes new observations of the life cycle and an analysis of the nuclei using Feulgen stain reaction.

## Musculature reorganization associated with budding of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa) from the White Sea

Shapkina A. \*, Khabibulina V., Starunov V.

Saint Petersburg University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg

\* e-mail: anya.shapkina@gmail.com

Similarly to other Scyphozoa, *Aurelia aurita* possess three principal types of reproduction: sexual reproduction, strobilation — a sort of transverse fission leading to the medusa formation, and budding of the polyps. Budding in *A. aurita* is varied (Berrill, 1949). Apart from the strobilation, three types of the asexual reproduction have been described: polyps directly budded from the parent stalk, polyps budded from the parent pedal stolon, and podocysts (Han & Uye, 2010). Notably, it is still unclear how do the muscular elements appear in new buds: form *de novo*, pinch away of the parent muscle bands or from stolons. We focused on investigation of the musculature reconfiguration in *Aurelia aurita* polyps from the White Sea by phalloidin labeling and using confocal microscopy.

According to the muscles reconfigurations we found three types of budding: lateral budding, stolonial budding, and detaching an unformed roundish tissue piece. Lateral buds have some special features according to the place of growth. The time of the development before separation varies according to the formation site (Gilchrist, 1937): the buds formed next to the basement stay attached to the parental organism longer than those formed closer to the polyp mouth. Phalloidin staining showed that such buds form their own musculature without connection with the parent individual. Stolon is originally an organ of locomotion (Gilchrist, 1937) so the polyp muscle elements run to the stolon and therefore possibly continue in a stolonial bud. The third type of budding is similar to the external formation of the swimming propagules described by Vagelli — externally formed protruding outgrowth of various shape usually formed on the stalk or stolon (Vagelli, 2007). According to the research of A. Vagelli, muscle elements as well as other structures develop after separating from the scyphistoma.

In conclusion, here we demonstrate three forms of budding with alternative mechanisms of musculature reorganization. We suppose that in lateral buds, as well as in the stolonial ones, muscle elements run from the parent polyp, while in propagules the musculature probably forms *de novo*.

## Разнообразие фенотипов у генетически полиморфных гидроидов *Sarsia lovenii* из Белого моря

Батрина Д. А. \*, Прудковский А. А.

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

\* e-mail: batrina.darya@yandex.ru

Для большинства представителей гидроидных (Cnidaria: Hydrozoa) характерно наличие полипоидной и медузоидной стадий жизненного цикла. Систематика разных семейств гидроидных основана на морфологических признаках обеих стадий. Однако в одних случаях таксоны отличаются в основном строением медуз, а в других случаях — строением полипоидных колоний (гидроидов). В качестве возможного объяснения такого явления была предложена концепция «несогласованной эволюции», согласно которой полипоидная и медузоидная стадии жизненного цикла эволюционируют независимо друг от друга. Редукция медузоидной стадии — одна из основных эволюционных тенденций у гидроидных Anthoathecata и Leptothecata. Обитающие в Белом море гидроидные *Sarsia lovenii* (Anthoathecata: Corynidae) предлагают уникальную возможность наблюдать появление морфологических отличий на разных стадиях жизненного цикла в процессе видообразования. В Белом море обитают две гаплогруппы данного вида, которые отличаются способами репродукции. Гидроидные продуцируют нормально развитых свободноплавающих медуз или редуцированных медузоидных особей (медузоидов), которые остаются прикрепленными к колониям гидроидов. Медузы и медузоиды свободно скрещиваются в экспериментальных условиях. Целью нашей работы было оценить изменение фенотипа полипоидной стадии у гидроидных *S. lovenii* на фоне редукции медузоидной стадии, а также в случае формирования гибридных форм.

Материал был собран в акватории беломорской биостанции МГУ им. М. В. Ломоносова. Часть собранных медуз и медузоидов *S. lovenii* использовали для экспериментального скрещивания и получения гибридных колоний. В дальнейшем эти колонии, а также гидроидов рода *Sarsia*, которые были собраны в море, выращивали для получения экспериментальных культур. Для изучения фенотипического разнообразия был проведен сравнительный анализ морфологических признаков экспериментальных колоний: расстояние между соседними полипами в колонии, особенности ветвления стелющихся столонов и восходящих столонов (побегов), а также размеров восходящих столонов и их ответвлений. На основании проведенного анализа были выделены несколько морфотипов экспериментальных колоний. Для анализа генетического разнообразия и точной видовой идентификации экспериментальных колоний были изучены митохондриальный (COI) и ядерный (ITS) фрагменты ДНК. Выявленные морфотипы строения колоний сопоставили с группами гидроидных, выделенными методами молекулярной филогении.

В докладе будет представлен сравнительный анализ строения колоний, а также будут проанализированы причины различий в строении колоний с учетом их генетической принадлежности.

*Проект выполняется при поддержке гранта РФФИ 18-04-01352*

## Phenotypic diversity in genetically polymorphic hydroid *Sarsia lovenii* from the White sea

Batrina D. A. \*, Prudkovsky A. A.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: batrina.darya@yandex.ru

The life cycle of hydrozoans includes medusa and polyp stages, which probably evolve inconsistently. Recently a case of nascent speciation was revealed in hydrozoan *Sarsia lovenii* from the White sea. This polymorphic species exhibits a possibility to study the morphological evolution of hydroid stage during reduction of medusa stage.

## Изучение разнообразия вестиментифер *Lamellibrachia* и *Escarpia* Каймановой впадины

Кроленко В. И. \*, Римская-Корсакова Н. Н.

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

\* e-mail: vikrolenko@gmail.com

Недавние исследования геологии и биологического разнообразия Каймановой впадины (Mid-Cayman Rise) показали, что этот регион отличается своей географической изолированностью от других систем срединно-океанических хребтов, что способствует формированию новой биогеографической провинции. Кольчецы-вестиментиферы родов *Lamellibrachia* и *Escarpia* являются сестринскими группами к гидротермальным вестиментиферам группы Teyniida, они проявляют наибольшую пластичность в выборе среды обитания и повсеместно встречаются в океанах мира. В состав *Lamellibrachia*, помимо восьми описанных в настоящее время видов, входит также ряд известных, но еще не описанных, среди которых наиболее интересны *Lamellibrachia* sp. 1 и *Lamellibrachia* sp. 2 Мексиканского залива. Эти два вида хорошо исследованы, однако формально остаются безымянными. В то время как *Lamellibrachia* sp. 1 генетически и по географическому распространению похож на *L. luyesi*, и лишь батиметрически от него отличается, то *Lamellibrachia* sp. 2 — отдельный вид, который относительно недавно был найден в зонах диффузных высачиваний Каймановой впадины и неподалеку от островов Тринидада и Тобаго и Барбадоса. Род *Escarpia* в настоящее время содержит три вида, демонстрирующих явные морфологические различия наряду с высоким генетическим сходством. В ходе ряда экспедиций 2012 и 2013 гг. в регион Каймановой впадины были собраны черви *Lamellibrachia* и *Escarpia*. Предварительный генетический анализ взаимоотношений *Escarpia* показал, что известные представители этого рода являются одним видом; в то время как черви *Lamellibrachia* образуют новую популяцию *Lamellibrachia* sp. 2. В этом исследовании мы используем морфологические методы для описания нового вида *Lamellibrachia* sp. 2, и решения проблемы, к какому виду относится популяция червей *Escarpia* Каймановой впадины.

Проект выполняется при поддержке РНФ, грант № 18-14-00141.

## Study of diversity of the Cayman Trough vestimentiferans *Lamellibrachia* and *Escarpia*

Krolenko V. \*, Rimskaya-Korsakova N.

Lomonosov Moscow State University, Department of Invertebrate Zoology, Moscow

\* e-mail: vikrolenko@gmail.com

Vestimentiferans *Lamellibrachia* and *Escarpia* were sampled in the biogeographically isolated Cayman Trough. Preliminary phylogenetic analysis showed all known representatives of *Escarpia* to present single species, and *Lamellibrachia* to constitute a new *Lamellibrachia* sp. 2 population. We provide morphological descriptions of new *Lamellibrachia* species and solve *Escarpia* population species affiliation problem.

## **Морфология переднего отдела пищеварительной системы брюхоногих моллюсков рода *Admete* (Neogastropoda: Cancellariidae) Евразийской Арктики**

Ариффулина А. Э.<sup>1,2\*</sup>, Нехаев И. О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, кафедра биологии, экологии и гистологии, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Санкт-петербургский государственный университет, лаборатория биогеографии и макроэкологии беспозвоночных, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Санкт-петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии, Санкт-Петербург

\* e-mail: arifulinaalfiya98@yandex.ru

Моллюски семейства Cancellariidae имеют широкое распространение в Мировом океане. Характерная особенность данного семейства — редуцированная радула или полное ее отсутствие. Сейчас в Евразийской части Арктики известно о пяти представителях данного семейства. Большая часть относится к роду *Admete*.

Систематика арктических *Admete* до сих пор базируется лишь на морфологии раковины. Помимо признаков раковины при систематике семейства Cancellariidae из других регионов учитывается морфология переднего отдела пищеварительной системы.

Цель работы — изучение морфологии переднего отдела пищеварительной системы некоторых представителей рода *Admete*, обитающих в морях Евразийской Арктики.

Нами было вскрыто несколько экземпляров из коллекции Лаборатории биогеографии и макроэкологии беспозвоночных СПбГУ и Зоологического института РАН. Изученные экземпляры были из Баренцева, Белого, Карского морей. По морфологии раковины моллюски относятся к видам *A. viridula*, *A. solida*, *A. contabulata*.

Исследования проводились с использованием стереомикроскопа, а также электронного сканирующего микроскопа после сушки с использованием гексаметилдисилазана.

Строение изученных нами экземпляров было типичным для всего семейства Cancellariidae. Мы определили это по следующим признакам: длина глотки, форма пищевода, наличие буккальных ганглиев, желез Лейблена, форма челюсти, длина и форма слюнных желез, наличие дополнительный и основных слюнных желез. Строение изученных экземпляров не является типичным для рода, поскольку у большинства вскрытых моллюсков мы обнаружили сходство с *A. viridula* только по слабому развитию железы Лейблена, в то время как слюнные железы (форма и длина) и форма челюсти в целом были разные. Также не у всех экземпляров были обнаружены дополнительные и основные слюнные железы.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии в Арктике как минимум еще одного вида конхологически близкого к *A. viridula*, обитающего Арктике, а также подтверждают самостоятельность *A. solida*.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 18-74-00010. Работа со Сканирующим электронным микроскопом проводилась в ресурсном центре «Нанотехнологии» научного парка Санкт-петербургского государственного университета.

## **Morphology of the anterior part of the digestive system of gastropods of the genus *Admete* (Neogastropoda: Cancellariidae) from the Eurasian Arctic**

Arifulina A. E.<sup>1,2\*</sup>, Nekhaev I. O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, Department of Biology, ecology and histology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Laboratory of macroecology and biogeography of invertebrates, Saint Petersburg

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, department of applied ecology, Saint Petersburg

\* e-mail: arifulinaalfiya98@yandex.ru

The systematic position of Arctic representatives of the genus *Admete* had been previously based only on the shell morphology. We studied morphology of the anterior part of the digestive system of the Arctic *Admete*. Morphology of studied specimens was common for the family Cancellariidae but unusual for the genus *Admete*.

***Leptogyra bujnitzkii* (Gorbunov, 1946) — a first representative of gastropod subclass Neomphaliones from the high Arctic**

Krol E.<sup>1,2\*</sup>, Nekhaev I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg University, Department of applied ecology, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Murmansk Arctic State University, Research Laboratory “Monitoring and conservation of natural Arctic ecosystems”, Murmansk

\* e-mail: krol.katerina@gmail.com

Species *Ganesa bujnitzkii* Gorbunov, 1946 was described from the bathyal of the Arctic Ocean north to the Laptev Sea based on only two specimens which are still remaining the only known representatives of the species. Earlier, based on original description, this species was supported as a representative of the genus *Skenea* of the subclass Vetigastropoda by many authors.

We had reexamined syntypes of *Ganesa bujnitzkii* and suggested that they are more morphologically similar to the representatives of the subclass Neomphaliones than to vetigastropods based on shell and radular morphology.

Both syntypes are uniform and were initially studied with stereomicroscope. Single shell was also studied using scanning electronic microscope at the Research park of Saint-Petersburg State University Interdisciplinary Center for Nanotechnology. There is no information about soft body of both specimens, probably they were extracted by Gorbunov. Single slide with two fragments of radulae used for the original description was also studied.

The representatives of the genus *Leptogyra* have the same with *Ganesa bujnitzkii* pattern of protoconch sculpture of irregular network vanishing towards adult whorls. Teleoconch sculpture of *Ganesa bujnitzkii* resembles *Leptogyra* by presence of prosocline sigmoidal growth lines and spirally arranged wrinkles or riblets. Radular morphology of *Ganesa bujnitzkii* is also the same as in the majority of *Leptogyra*.

Until recently, there were no known representatives of the subclass Neomphaliones in the high Arctic. Representatives of genus *Leptogyra* like other members of the subclass are known exclusively from reduced habitats as sunken wood or hydrothermal vents. There is no evidence about geothermal activities in the area near the type locality of *Leptogyra bujnitzkii*, therefore we suggest that our finding can indicate the presence of sunken wood biocenoses in the Arctic Ocean.

*The study was supported by the Russian Science Foundation under the grant No 18-74-00010*

## Изучение полиморфизма в популяциях брюхоногого моллюска *Testudinalia testudinalis* на литорали Баренцева моря

Зуев Н. М.<sup>1\*</sup>, Денисенко М. Д.<sup>1</sup>, Дюмина А. В.<sup>2</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

\* e-mail: zu225@yandex.ru

Фенотипический полиморфизм часто связан с гетерогенностью факторов среды обитания. У брюхоногих моллюсков, в частности у Patellogastropoda, он зачастую проявляется как изменчивость распределения пигмента в раковине. Для представителей этого таксона характерна блюдцевидная или колпачковидная форма раковины. По центру располагается эмбриональная раковинка — протоконх. Явление полиморфизма окраски у пателлогастропод практически не изучено. Целью данной работы было исследование феномена изменчивости окраски раковины пателлогастропод на примере вида *Testudinalia testudinalis* (O. F. Müller, 1776). В рамках этой цели поставлены задачи выявить взаимосвязь между частотой встречаемости отдельных морф и гетерогенностью условий среды, а также установить, маркируют ли различные морфы соответствующие гаплотипы по гену цитохром-оксидазы I.

Отбор проб проходил на литорали Ярнышой (7 сайтов, расположенных на равных расстояниях между горлом и вершиной) и Дальнезеленецкой губ (3 сайта в бухте Оскара) (Восточный Мурман, Баренцево море). В пробу входили все экземпляры *T. testudinalis*, собранные с произвольно расположенной рамки площадью четверть метра. Высушенные раковины использовались для морфометрического анализа. Мягкие ткани были зафиксированы в спирте для проведения ДНК-баркодирования. Использовались методы геометрической морфометрии с последующей статистической обработкой многомерных данных в R (Principal Component Analysis).

Нами было выявлено 12 морф, соответствующих различным вариантам окраски раковины *T. testudinalis*. Был установлен характер взаимосвязи частоты встречаемости морф и условий среды обитания в исследуемых сайтах (соленость, pH, тип грунта, прибойность). Установлено соответствие представителей различных морф разным гаплотипам по гену *cox I*.

## Exploration of polymorphism in the Barents Sea population of *Testudinalia testudinalis*

Zuev N.<sup>1\*</sup>, Denisenko M.<sup>1</sup>, Diumina A.<sup>2</sup>

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

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

\* e-mail: zu225@yandex.ru

Polymorphism of pigment distribution on shells of *Testudinalia testudinalis* (Mollusca: Patellogastropoda) was studied at the Barents Sea. To assert that we have several morphotypes in our sample we used geometry morphometric method based on landmarks. Next, we examined correlation between morphotype occurrence and environmental heterogeneity. Then we tried to define how phenotypic polymorphism reflects genetic diversity.

## **Строение стенки тела ювенильных особей *Sagitta elegans* (Chaetognatha)**

Денисова С. А., Щенков С. В. \*, Филиппов А. И., Шунатова Н. Н.

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

Стрелки (Chaetognatha) — это группа морских беспозвоночных животных, чья анатомия до сих пор очень слабо изучена. Учитывая их неоднозначное филогенетическое положение среди многоклеточных, данные по их тонкой морфологии становятся особенно актуальны.

Материал для исследования был собран в летние месяцы 2018 г. и осенью 2019 г. при помощи планктонной сети в окрестностях о. Средний (губа Чупа, Кандалакшский залив, Белое море). Вертикальными и горизонтальными «протяжками» пойманы стрелки *Sagitta elegans* (Chaetognatha) с различных глубин. Крупные взрослые особи были зафиксированы жидкостью Буэна, ювенили — 2,5 % глутаровым альдегидом (750 мОсм). Приготовлены поперечные гистологические срезы из половозрелых особей (фиксированные животные предварительно выдержаны в жидкости Петерфи, срезы окрашены железным гематоксилином). Из ювенильных экземпляров с помощью ультрамикротомы Leica EM UC7 сделаны тонкие срезы (65 нм, изучены на микроскопе Jeol JEM-1400).

Стенка тела половозрелых особей выглядит состоящей из двух слоев: тонкого и прозрачного наружного, сильно преломляющего свет, и толстого внутреннего, сформированного мощными «перистыми» мышцами. Изучение тонкой морфологии стенки тела ювенильных экземпляров показало наличие у *S. elegans* наружного слоя, состоящего из уплощенных эпителиальных клеток и внутреннего, представленного клетками нескольких типов. Первый из них — это мышечные клетки, сократимые пучки в которых ориентированы параллельно продольной оси тела животного. Клетки второго типа не несут сократимых элементов, имеют многочисленные строго ориентированные ламеллярные выросты и формируют выстилку полости тела. На ультраструктурном уровне выявлены базальные пластинки двух типов и обнаружено несколько продольных нервов, залегающих субэпидермально. Показано, что септы, подразделяющие полость тела, имеют клеточную природу.

Результаты получены на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий».

## **Body wall structure of juvenile *Sagitta elegans* (Chaetognatha)**

Denisova S. A., Shchenkov S. V. \*, Filippov A. I., Shunatova N. N.

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

We present a description of the comparative morphology of body wall, musculature and body cavity of mature and juvenile *Sagitta elegans*. The body wall of juvenile arrow worms consists of specific epithelium, muscle cells and large cells with lamellar processes which are lining the body cavity.



## Gut microbiomes and host species divergence: metabarcoding study in intertidal snails' cryptic species

Gafarova E.<sup>1\*</sup>, Maltseva A.<sup>1</sup>, Varfolomeeva M.<sup>1</sup>, Panova M.<sup>1,2</sup>, Mikhailova N.<sup>3</sup>, Granovitch A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Gothenburg University, Department of Marine Sciences, Sweden

<sup>3</sup> Institute of Cytology of the RAS, Center of Cell Technologies, Saint Petersburg

\* e-mail: st047483@student.spbu.ru

Gut symbionts are noted for their role in maintenance of normal metabolic functioning, immunity, reproduction, etc. in both vertebrates and invertebrates. Gut microbiome is a highly specific community of symbiotic microorganisms associated with a host species. The composition of this community reflects host's niche characteristics due to effect of diet. As for closely related host species, the spatial differentiation of micropopulations and their food preferences affect digestion regime, the spectrum of absorbed and harboured microorganisms, and thus results in inevitable changes in the species-specific microbial community. Moreover, formation of a specific and balanced microbial community can be regarded as a significant element of speciation.

Marine intertidal molluscs of the genus *Littorina* (subgenus *Neritrema*) are common inhabitants of intertidal zone in the North Atlantic region. They graze bacterial biofilms and micro- and macroalgae. The intertidal habitat is characterized by diverse factors/stressors with values gradually changing along a vertical gradient; and periwinkles from different intertidal levels, are generally accepted as an example of early stages of ecology-driven speciation. Taxonomic analysis of bacterial communities associated with different species and ecotypes may provide a clue to identify the functional role of microbiota in periwinkles.

We described typical microbial communities of several *Littorina* species (*L. saxatilis*, *L. arcana*, *L. compressa*, *L. obtusata*, *L. fabalis*, *L. littorea*), and characterized their variable and conservative parts taking into account biological properties of bacteria involved. Detailed assessment of microbial composition associated with periwinkles was carried out via metabarcoding (16 and 18s rDNA fragments were sequenced using NGS technology). The data analysis and visualization were carried out in R. Our results allow, first, to distinguish (possibly species-specific) gut-associated bacteria from facultative accidental symbionts coming from external environment; and furthermore, to elucidate possible roles of commensal microbiota in *Littorina* functioning and speciation.

*This project was supported by the Russian Foundation for Basic Research grant 19-04-00392.*

## Possible ways of bacterial symbionts transmission in bryozoan zooids

Karagodina N. P.<sup>1\*</sup>, Vishnyakov A. E.<sup>1</sup>, Kotenko O. N.<sup>1</sup>, Ostrovsky A. N.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> University of Vienna, Department of Paleontology, Vienna, Austria

\* e-mail: kara.karagodina@yandex.ru

The symbiotic relationships of invertebrates with bacteria are widespread. Such associations are also met in bryozoans. There are both gram-positive and gram-negative symbiotic bacteria described in bryozoan colonies. Localization of these symbionts varies in different species. Both intracellular and extracellular symbionts are known being found in autozooids, avicularia and brood chambers (ovicells). Vertical transmission of symbionts from maternal zooids to developing larvae in the ovicells has been described for some species from the genus *Bugula*. While the metabolites produced by bacteria provide chemical protection for the larvae from predators, the role of bacteria in adult colonies remains poorly understood. However, there is an evidence of the influence of symbionts on the process of early differentiation of female germ cells.

Ultrastructural studies of two cheilostome species bryozoan *Aquiloniella scabra* and *Bugula neretina* revealed the presence of bacterial symbionts in the cavity of zooids inside so-called “funicular bodies”, that are extensions of funicular strands providing transport function within and between zooids. Bacteria were also found in both species in brood chambers containing developing embryos and in the oocial vesicle that closes the entrance to the brood chamber of *B. neretina*. Accordingly, the question is how the symbionts move from the bacterial bodies to the brood chambers. Based on our as well as published data, we suggested the following variants of the bacterial transportation inside the bryozoan zooids.

First, we assume that symbiotic non-flagellated bacteria may have the ability to glide (characteristic of many phylogenetically diverse bacteria). In the zooid cavity of the bryozoan *A. scabra*, symbionts were found outside the funicular bodies. This may indicate that cells could leave the funicular bodies and actively move along the surface of the host cells.

It is also possible that bacterial symbionts could move inside the funicular strands from funicular bodies to the oocial vesicle. There is an evidence of the presence of symbiotic bacteria in the lumen of funicular cords of *B. neretina*.

If the bacteria cannot move under its own power, some vector should exist. Amoebocyte-like cells carrying bacterial symbionts have been found in the oocial vesicle of the species *B. neretina*. Perhaps such cells can serve as a transporter of symbionts from funicular bodies, which are incubators for bacteria, to brood chambers with developing larvae.

*The project is supported by the Russian Science Foundation grant 18-14-00086.*